ELEMENTI DI FISICA AD USO DEI COLLEGI NAZIONALI E DEI LICEI PEL...

Giovanni Alessandro Majocchi



ELEMENTI DI FISICA

ELEMENTI DI FISICA

AD USO

DEI COLLEGI NAZIONALI E DEI LICEI

pel corso filosofico

DI

GIANALESSADRO MAJOCCHI

Membro corrispondente delle reali accademie delle scienze di Torino, di Napoli e di Padova; della reale accademia Toscana d'arti e manifatture; della società industriale d'Angers e dell'accademia di Nimes in Francia; dell'accademia reale Pontoniana di Napoli, istituto di Bologna, Valle Tiberina toscana, d'Arezzo, di Perugia, colombaria di Firenze, degli atenei di Venezia, Brescia ecc.; dottore nella facolta' fisico-matematica, gia' R. professore di fisica e meccanica, ed ispettore provinciale delle S. E. nel Lombardo-Veneto, attuale professore sostituito di fisica nella R. Universita' e di filosofia positiva nei due collegi nazionali di Torino.

ecc ecc ecc ecc ecc ecc ecc

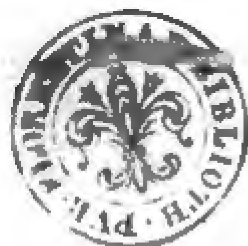
tralasciamo per brevità!!!!!!!!!!!...........

TOMO SECONDO (seguito).

TORINO

CUGINI POMBA E COMP. EDITORI

1855.



Stamperia Sociale degli Artisti A. Pons e C.

GLI EDITORI.

Questi *Elementi* sono riusciti di maggior mole di quanto si è da noi annunziato e di quanto l'autore stesso aveva creduto. È per ciò ch' egli nella lettera del 14 giugno 1852, pubblicata sulla coperta d'una delle dispense, faceva riflettere che le *dottrine dei fluidi imponderabili hanno fatto in pochi anni tanti progressi, hanno acquistato tante nuove verità importanti per le scienze e per le arti che era impossibile, senza rendere imperfetta l'opera, di restringersi nei limiti stabiliti.* L' autore aggiungeva inoltre che i telegrafi elettrici, attivati nella Penisola, l'indussero a consacrare ai medesimi un numero maggiore di pagine, e che un ramo di fisica tutto nuovo, il *diamagnetismo*, di cui non parlano i più recenti trattati anche stranieri, si è dovuto presentare nel suo stato di attuale incremento. Osservisi inoltre che, mentre i due capitoli della *fisica cosmologica* risguardanti i *fenomeni terrestri* ed i *fenomeni celesti* sono riusciti di poca estensione, senza però essere mancanti di tutto ciò che appartiene ai nostri *Elementi;* l'altro dei *fenomeni atmosferici*, spettanti per intero alla fisica, ha dovuto necessariamente avere maggiore sviluppo senza uscire dai limiti d'un trattato elementare. D'altronde questi fenomeni destano molto

interesse in ogni classe di persone, e l'autore ha preso in attento esame con ulteriori studi i metodi per fare le osservazioni e per stabilire i dati necessari alla *meteorologia comparata*, anche in riguardo al piano, di cui egli parla al § 1696, che va attivandosi presso di noi.

Abbiamo perciò creduto dividere questo tomo II in due *volumi*, il primo dei quali è formato da 40 fogli di stampa con 14 tavole di figure, ed i fogli e le tavole rimanenti ne costituiscono il secondo, che riesce di mole pressochè eguale all'altro. Di tal maniera il *volume primo del tomo II* comprende i trattati della *luce* e del *calore*, ed il *volume secondo del tomo II* quelli della *elettricità* col *magnetismo* unitamente alla fisica *cosmologica*. A maggior comodo le tavole con quelle del tomo I si possono tutte legare in un solo atlante di figure ad uso dell'intero corso di fisica, e riunire allora, se piace, tutti i fogli del secondo tomo in un solo.

L'autore, nella prefazione, fa notare che il presente *Corso elementare è il frutto di parecchi anni di studi e d'esperienza, e nel vero significato del vocabolo, un'opera italiana;* e nella lettera su citata, nota altresì *che ben un centinaio di lavori dei nostri connazionali si troveranno riferiti od almeno citati in questi* Elementi, *lavori di cui sono mutoli i trattati dei nostri vicini d'oltremonte,* sui quali vengono d'ordinario compilati i libri della natura di questo. Dall'indice alfabetico infatti si scorge che l'autore non ha per nulla esagerato, risultando anzi molto più grande dell'asserito il numero degli scienziati italiani che hanno contribuito in diversi modi allo schiarimento ed al progresso della scienza. Coll'aiuto poi dell'Indice alfabetico riesce facile al lettore di convincersi pienamente dell'asserzione dell'autore nella sunnominata lettera del 14 giugno, cioè che Renaldini, riconosciuto pure dai dotti inglesi e germanici, sia stato il primo fisico che ha stabilito le norme, seguite ancora oggidì, per fissare gli estremi della scala, e per rendere

così i termometri comparabili; che gl' Italiani furono altresì i precursori dell'elettro-magnetismo; che la dottrina del calorico irradiante nacque, crebbe e giunse alla perfezione per opera di altro figlio dell'Italia; che l'elettromotore telluro-elettrico è invenzione italiana; che il nostro Beccaria è proclamato fra i primi dotti che contribuirono all'incremento dell'elettricità. Si dica egualmente di molti altri nostri connazionali, dei quali l'autore mette nella vera luce le invenzioni, le scoperte, ed in generale i lavori da essi intrapresi sulla scienza della natura. E appunto per questo che il professor Maiocchi, nel consegnare ai primi di gennaio ad uno di noi gli ultimi fogli del manoscritto dell'opera, aggiungeva: *io nutro altresì qualche fiducia d'aver eretto un monumento storico alla scienza fisica in Italia.*

L'Opera non è una semplice *Guida* per esporre con ordine le lezioni orali, ma un *Corso di fisica* compiuto. Di tal maniera diventa non solo d'importanza agli Studenti di filosofia nei collegi e nei licei delle diverse parti d'Italia, ma riesce altresì di gran vantaggio all'*Ingegnere* pei molti dati e per le formole che richiedono gli studi e i bisogni della sua professione; al *Medico* per prendere cognizione dei diversi agenti che influiscono sulle funzioni della vita e del modo d' amministrare l'elettrico nelle diverse malattie che travagliano l'umanità; come pure al *Farmacista* ed in generale a *tutti i cultori delle scienze naturali.* **L'Indice Alfabetico** poi, esteso agli autori ed alle materie considerate sotto diversi aspetti e sotto le diverse denominazioni, costituisce un vero **Dizionario di fisica** col quale il Lettore potrà non solo avere un *Sunto storico della scienza*, ma verrà posto in situazione di rinvenire con somma facilità la *questione* e la *dottrina* che bramasse d'esaminare; i *fenomeni* e gli *effetti* sui quali amasse qualche schiarimento; i *metodi*, i *processi*, gli *sperimenti*, le *osservazioni* e le *formole* che desiderasse di studiare; ed infine gli *strumenti*, le *macchine* e gli *apparati* di cui volesse servirsi. In tal guisa l'opera diviene utile e s'appro-

pria *a qualunque persona* cui importi di possedere un libro per consultare all'evenienza intorno ai *molliplici fenomeni* che succedono nel vasto laboratorio della natura, agli *effetti differenti* che si riscontrano nelle arti, ed alle *diverse applicazioni* che i principii delle scienze fisiche hanno avuto negli usi della società e nei bisogni della vita.

Torino, 31 marzo 1853.

CUGINI POMBA e C.



pirotecniche sono diverse e si fanno conoscere in appositi trattati, il principale dei quali è quello di Claudio Ruggeri, il cui padre è l'inventore di quel fuoco d'artifizio di sorprendente chiarezza conosciuto generalmente sotto il nome di *fiamma o fuoco del Bengal*, che si compone di p. 48 in peso di salnitro, di p. 14 di solfo e p. 7 di limatura d'antimonio.

1210. Accumulando dunque con sempre più crescente intensità il calorico, i corpi solidi si trasformano in liquidi, e questi si volatilizzano. Talchè nello stato attuale dei mezzi ritrovati dalla scienza e dall'arte si può asserire che nessun corpo si sottrae a quella trasformazione. Era quindi ben naturale il supporre che i corpi, i quali d'ordinario si presentano allo stato aeriforme o a quello liquido, potevano essere liquefatti o solidificati sottraendo da essi il calorico, per cui si mantengono in quegli stati. Sotto questo punto di vista la scienza non aveva nel trascorso secolo le idee così estese, che si sono acquistate dappoi coi mezzi sempre più potenti di riscaldamento e di raffreddamento. Infatti fu accolto con meraviglia il fenomeno osservato da Pallas nel dicembre del 1772, allorquando a Kramojarsk in Siberia trovò gelato il mercurio del termometro. Da quell'epoca i fisici si occuparono con raffreddamenti artificiali a gelare il mercurio, che la natura stessa aveva solidificato nel termometro di Pallas; e con mescolanze frigorifere (§. 1188) si giunse a consolidarne parecchi chilogrammi. Questo liquido, tanto ammirato dal volgo pel suo peso, fu risguardato d'allora in poi come un vero metallo fusibile ad una temperatura molto più bassa di quella necessaria a fondere i metalli ordinari. Allo stato di solido presenta un aspetto brillante, si distende sotto la percossa dando un suono cupo simile a quello del piombo, cui si accosta anche per la durezza. Il mercurio da fondersi si versa in un vaso, che si sospende nel mezzo d'altro vaso un po' più grande, e quest'ultimo è contornato da una capacità ancor più grande. Il primo vaso si empisce d'una mescolanza frigorifera, che si rinnova al bisogno e tiene raffreddato il vaso di mezzo, il quale si riempisce d'una mistura ancor più refrigerante atta a sottrarre abbastanza calorico per solidificare il mercurio. Faraday (1) ha gelato 31 grammi di mercurio in tre secondi coll'evaporazione dell'etere e dell'acido carbonico solido sotto la forma sferoidale in un crogiuolo di platino rovente (§. 1133).

(1) *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. XXVI, pag. 63.

In questi ultimi anni il capitano Ross, nel suo viaggio al Polo Nord, ha osservato che il ghiaccio in quelle regioni è sì freddo che non si può fonderlo col calore umano, nè sopportarne il contatto. Gli strumenti di metallo non si potevano maneggiare per la sensazione molesta che producevano. Una palla di mercurio congelato, lanciata dal fucile, ha attraversato una tavola della grossezza di cent. 2,5. L'olio di amandole dolci, solidificato a quella temperatura di 40 o più gradi sotto lo zero, venne in forma di palla lanciato egualmente dal fucile: in tale stato ruppe la tavola di legno e fu rimbalzato senza esserne infranto (1). Più la temperatura è bassa, più il liquido solidificato acquista consistenza e si avvicina da questo lato ai corpi, che conservano lo stato solido alla temperatura ordinaria. L'inverno dell'anno 1740 fu assai rigido, e si fabbricò a Pietroburgo, col ghiaccio cavato dal fiume Neva, un gran palazzo, nello stesso modo che si costruisce colle pietre ordinarie. Si fecero altresì nello stesso anno dei cannoni di ghiaccio, che si caricarono di polvere e palla e si spararono come quelli fatti di bronzo senza che si rompessero, il che prova la consistenza, che può acquistare un liquido qual'è l'acqua colla sottrazione del calorico. In tempi più vicini a noi, nell'inverno dell'anno 1830, la cui rigidezza fu provata anche in Italia, si fabbricò una casa di ghiaccio nei contorni di Vienna, dove fu data una festa di ballo.

1211. Sino in questi ultimi tempi i lavori dei fisici si limitarono alla solidificazione di liquidi e di vapori: ma i gas, che sembrano di loro natura conservare lo stato aeriforme e che per ciò furono chiamati fluidi permanenti (§. 588), sono pur essi suscettibili di prendere lo stato liquido e solido? La scienza, fondandosi sul modo con cui si presenta la materia nei tre stati (§. 40), rispondeva affermativamente, ma l'induzione richiedeva la prova dell'esperienza. Colla sottrazione di calorico e coll'aumento di pressione si solidificò primieramente il gas acido carbonico, il quale nel nuovo stato presenta l'aspetto di nevischio. Il cambiamento dello stato molecolare che pel raffreddamento subisce il recipiente dove si condensa il gas a parecchie atmosfere, e la tensione che si sviluppa sotto a quelle forti pressioni, possono essere causa d'uno scoppio e di tristi accidenti, come è pur troppo avvenuto (2), ed è perciò che bisogna assicurarsi del buono stato e della resistenza del vaso dove si fa la condensa

(1) Si vegga il *Journal de pharmacie* del 1835, fascicolo di luglio.
(2) Vedi gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, prima serie, t. III, pag. 106.

zione Per operare la liquefazione dell'acido carbonico si può far uso del seguente metodo proposto e messo alla prova da Berthélot (1). Egli riempie di mercurio un robusto tubo di barometro, eccetto la parte superiore dove introduce del gas acido carbonico, e chiude il tutto entro il tubo fondendo il vetro alla lampada col cannello avvivatore. Riscaldando inferiormente il mercurio al calore di 58 in 59 gradi, esso si dilata e comprime il gas, il quale passa, secondo lo, allo stato liquido in quantità sufficiente da rendersi manifesto agli astanti con un microscopio a lanterna (§. 952).

Faraday ha accoppiato alla pressione il raffreddamento, prodotto dal bagno di acido carbonico solido e di etere tenuto nel vuoto continuamente rinnovato, ed è giunto a liquefare parecchi gas (2). Il *gas olefacente* è risultato un bel liquido, chiaro e trasparente. Ciascuno dei *gas acido idroiodico* ed *idrobromico* è stato ridotto in un solido chiaro e trasparente. Il *gas fluosilico* si è soltanto liquefatto esigendo una temperatura molto bassa e la pressione di 9 atmosfere. Il *gas cloridrico* facilmente si liquefà, raffreddandolo sotto la pressione minore d'un'atmosfera, ma non si solidifica anche sotto maggiore pressione. Fra gli altri gas condensati da Faraday merita menzione distinta il *gas ossido di cloro*, il quale si presenta in una bella materia cristallina di color rosso-aranciato, assai friabile, senza dare indizio veruno di potere esplosivo. Per quest'ultima qualità potrebbe esso così solidificato servire come forza motrice da sostituirsi al vapore nella meccanica. L'*idrogeno*, l'*ossigeno*, l'*azoto*, il *biossido d'azoto*, l'*ossido di carbonio* ed il *gas idrogeno bicarbonato* non furono ancora liquefatti da Faraday. L'ossigeno venne sottoposto alla pressione di 58 atmosfere ed al raffreddamento di quasi − 96° C (−140° Fahr.), senza accorgersi della comparsa di liquido.

Aime si è servito della pressione di colonne d'acqua, calando i gas, rinchiusi in tubi a versamento, a differenti profondità del mare (3). Egli sarebbe giunto a liquefare l'*idrogeno bicarbonato* sotto la pressione di 124 atmosfere, per ottenere le quali avrebbe dovuto calare il tubo contenente il gas alla profondità di ben 1200 metri. Pel *deutossido d'azoto* sarebbe stata necessaria la pressione di 165 atmosfere, cioè di calare il tubo del gas alla profondità di ben un chilometro e mezzo. L'autore ha liquefatto eziandio l'os-

(1) Vedi gli *Annali di fisica* più volte citati, seconda serie, t. III, pag. 179.
(2) Gli stessi *Annali*, prima serie, t. XVII, pag. 289 e t. XVIII, pag. 265.
(3) I medesimi *Annali*, stessa serie, t. XIII, pag. 182.

sido di carbonio e il *gas fluosilico*. L'eccesso di pressione adoperata da Aimé in confronto di quella esercitata da Faraday, si è che il primo spremeva per così dire fuori il calorico con quella forza meccanica, mentre il secondo lo sottraeva anche coi mezzi refrigeranti. Natterer ha liquefatto il protossido d'azoto colla pressione esercitata mediante una piccola tromba di ferro (1). Era stata annunziata da Perkins la riduzione dell'aria in un liquido oleoso (2), che poi non si è confermata e non si deve in alcuna maniera ammettere dopo aver trovato che hanno resistito i suoi componenti azoto ed ossigeno.

I gas liquefatti riescono potentissimi mezzi refrigeranti, allorquando riprendono lo stato aeriforme; quando poi si condensano in liquido emettono molto calorico, il quale viene assorbito dalla mescolanza frigorifera o dal mezzo da cui sono circondati. Un fenomeno curioso è quello di avvolgere nella bambagia una piccola quantità di acido carbonico solido con poca potassa caustica cristallizzata e di comprimere il miscuglio colle dita: si sviluppa ben presto calorico bastante a riscaldare la bambagia in modo da non poter essere più tenuta nelle mani (3). L'azione chimica dell'acido coll'alcali non solo impedisce l'aeriformazione del primo, ma lo solidifica ancor più formando il sale, che dà luogo allo svolgimento del calore.

1212 Il calorico è l'agente che, contrastando la coesione delle molecole, le attenua, le disgiunge e le allontana più o meno l'una dall'altra. Per tal modo i solidi si trasformano in liquidi e questi in aeriformi. Nella sottrazione poi del calorico resta libera la coesione e gli aeriformi passano allo stato liquido e da questo all'altro di solido. In alcuni di questi passaggi la coesione ha talvolta bisogno d'essere sussidiata da una pressione esterna. Gli stati di solidità e di fluidità si devono dunque considerare come qualità relative e non assolute dei corpi. A differente distanza dal sole, il nostro globo prenderebbe consistenza ed aspetto differente da quello che mostra attualmente. L'acqua potrebbe essere solidificata in ogni regione della terra, oppure trasformata interamente in vapore e dar luogo a nuovi liquidi per riempiere i vasti bacini dei mari. In tal caso mancherebbe alla natura uno degli elementi principali per la produzione dei fenomeni della vegetazione e della vita.

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xvi, pag. 280.
(2) *Bulletin* di Ferrussac, t. i, pag. 57.
(3) *Annali* suddetti, t. xxi, pag. 74.

La gradazione dei passaggi dei corpi dall'uno all'altro stato non fu per molto tempo esaminata dai fisici che in un modo assai imperfetto. Si valutava soltanto l'azione del calorico, il quale incomincia a dilatare, segue col fondere e finisce col volatilizzare il corpo. Di molti corpi, che non si giunsero a liquefare coi mezzi allora conosciuti, si fece una classe a parte, che si distinse col nome di *materie refrattarie*, di *corpi apiri*, resistenti cioè all'azione del fuoco. La fisica moderna ne ha completato il quadro associando l'azione di due forze antagoniste, che si contrariano senza riposo e che, secondo la prevalenza dell'una sull'altra, determinano tutte le anzidette mutazioni di stato. Sotto questo punto di vista molti fenomeni, che la maggior parte degli uomini riguardano come diversi, non sono tali che pel linguaggio adottato a significarli: così da un lato la conversione del ferro solido in ferro liquido e il suo ritorno allo stato primitivo pel raffreddamento; e dall'altro il fondersi del ghiaccio e il congelarsi dell'acqua, non differiscono che per la diversa quantità di calorico necessaria a produrre il fenomeno. Laonde si potrebbe dire benissimo *sgelamento* del ferro la sua fusione, e *congelazione* del ferro il suo rassodarsi per la sottrazione di calorico. È bensì vero che le più grandi differenze osservate in natura si limitano all'acqua, la quale conserva costantemente la sua liquidità nelle regioni equatoriali, si agghiaccia ad intervalli ne' nostri paesi e si consolida ai poli in masse enormi, che non possono sottrarsi alla causa del loro induramento se non passando, quasi monti fluttuanti, nei mari dei climi temperati. L'arte però, superando in questo caso le forze della natura, ha rappresentato il quadro compiuto di quei passaggi, tanto in riguardo al crescere, quanto in riguardo allo scemare la forza espansiva del calorico.

CAPITOLO SESTO

DELL'ELETTRICITÀ.

1913. L'agente imponderabile, di cui dobbiamo occuparci, è uno dei più mirabili ed universalmente sparsi in natura, ed esercita il suo potere su tutta la materia pesante. Il suo modo d'esistenza ci è ignoto al pari della luce e del calore, e non lo conosciamo che pei suoi effetti sui corpi. Un cilindro di vetro, un bastone di ceralacca, un pezzo d'ambra ed altri corpi, stropicciati mediante un brandello di pannolano o di flanella, acquistano la proprietà d'attirare le pagliuzze, la caluggine delle penne, la segatura di legno, le bucce di

grano, ed altri minuzzoli di pochissima gravità come pezzetti di carta, globetti di sovero o di midollo di sambuco, esilissime foglietto d'oro o di canutiglia ecc. (fig. 254), di produrre sulla mano che loro si avvicina un titillamento somigliante alla sensazione provata strisciandola sulla ragnatela, di comparire nell'oscurità investiti di luce sfuggevole, e di dare talvolta una scintilla simile a quelle dell'acciarino quando al cilindro od al bastone si accosti il nodo del dito o un corpo metallico rotondato. Gli effetti riescono più intensi e più sicuri, servendosi d'un gran globo, cilindro o disco di vetro e facendo lo stropicciamento con un ordigno apposito, di cui quanto prima parleremo. Il tubo si può anche strofinare colla mano nuda ben asciutta, come pure con carta comune ben essiccata al fuoco. In ogni caso bisogna stringere leggermente ed operare con celerità. L'attitudine che acquistano i corpi a produrre quei fenomeni si chiama *elettricità* od *elettricismo*, dal nome *electron* dell'ambra o succino da cui prima d'ogni altro corpo si ottennero quei fenomeni. Si denomina poi *fluido elettrico* o semplicemente *elettrico* il principio o la causa qualunque sia, che dà ai corpi tale facoltà. I su accennati fenomeni sono per ciò i primi indizi o i *segni elettrici*, coi quali si riconosce quella proprietà di cui è dotata la materia.

Si chiamarono *idioelettrici* od *elettrici per origine* o semplicemente *elettrici* i corpi, che sono atti ad acquistare un tal potere, ed *anelettrici* o *non elettrici* quegli altri che non presentavano quella proprietà. In generale diconsi *elettrizzati* tutti quei corpi che ne manifestano i segni qualunque ne sia l'origine. Una tale distinzione nell'infanzia della scienza si credette la più concorde coll'indole stessa dei fatti, ma si riconobbe in seguito fallace. Imperocchè tutti i corpi strofinati si elettrizzano quando siano trattati con un metodo richiesto dalla loro natura. Si riconobbe infatti che i così detti idioelettrici, posti dopo lo stropicciamento a contatto con altri corpi, non comunicano ai medesimi che il fluido della parte toccata senza scemare negli altri punti. Parimenti, venendo a combaciamento con corpi elettrizzati, s'impossessano di quel fluido soltanto le particelle toccate senza diffondersi nelle altre parti. Al contrario gli anelettrici ne prendono non solo le particelle che subirono il toccamento, ma l'elettrico si diffonde su essi ed è comunicato a tutte le altre parti ed ai corpi contigui. È appunto per questo che i primi collo stropicciamento si elettrizzano in ogni loro parte senza che il fluido passi alle altre molecole, quando nei secondi, sebbene stropicciati si eccitì in loro l'elettrico, non ne danno però verun segno per essere disperso tosto lungo di essi nei corpi contigui.

1214. Presentando gli idioelettrici un ostacolo od impedendo quasi del tutto il passaggio al fluido elettrico, mentre gli anelettrici lo lasciano facilmente trascorrere su di loro; furono i primi con molto accorgimento chiamati *cattivi conduttori*, *coibenti* od *isolatori* dell'elettrico, ed i secondi *buoni conduttori*, *deferenti* o *non isolatori* del medesimo fluido, e ciò in corrispondenza delle distinzioni adottate pel calorico (§. 1040). Ora si comprende che, per elettrizzare un conduttore collo stropicciamento, è mestieri munirlo di manico coibente od isolarlo, onde impedire che si disperda l'elettrico su di esso eccitato; e che tutti i corpi sono idioelettrici quando nello stropicciamento si usino delle precauzioni volute dalla loro particolare natura (1).

Si annoverano nella *classe dei coibenti*, l'ambra, la ceralacca, il solfo, la pece, il colofonio, la gomma copale, la gomma lacca e tutte le materie resinose; il vetro, il cristallo di rocca, la tormalina e tutte le materie vetrificate; il diamante, l'agata, il diaspro, lo zaffiro, il granato ed altre pietre preziose; lo zucchero, il bromo, gli olii, il fosforo, la cenere, alcuni ossidi metallici, come pure l'asfalto, il gagate, il mastice e la maggior parte delle materie bituminose; la porcellana, la terraglia, la maiolica, il talco e materie consimili; e infine i peli degli animali, la lana, la seta, le piume, i legni ben secchi e specialmente i resinosi, la cera, i gas, l'aria asciutta e in generale i corpi essiccati. Nella *classe dei deferenti* occupano il primo posto i metalli e secondo il loro grado di conducibilità nell'ordine seguente rame, oro, argento, zinco, platino, ferro, stagno, piombo, mercurio e potassio. Vi ha però una grande diversità, principalmente dei primi tre in riguardo agli altri: così, p. es., il rame è 6 volte più conduttore del platino e del ferro, e 12 volte più del piombo. Dopo i metalli vi ha un gran salto, e seguono come conduttori il carbone, la maggior parte delle terre umide, la fiamma, il fumo, il vapore acqueo, gli acidi minerali e principalmente il nitrico, le soluzioni saline, i fluidi animali, le sostanze organiche non disseccate e in generale i corpi umidi.

A malgrado di questa distinzione è difficile stabilire il limite che separa le due classi, presentandosi un'indefinita gradazione nella conducibilità dei differenti corpi. Alcuni hanno ammesso per ciò una terza classe sotto la denominazione di *corpi semicoibenti* o *conduttori*

(1) Si veggano su tale soggetto le sperienze di Perego negli *Annali di fisica* eccpiù volte citati, t. III, pag. 68 e seguenti.

imperfetti, nella quale si annoverano il marmo asciutto, l'alabastro, il granito ed altre pietre, i legni non molto secchi, la paglia secca, e parecchie materie d'origine organica come le ossa, i gusci delle uova e delle ostriche, il cuoio, l'acqua pura, l'etere, il lino, la canapa, l'avorio, il corno, l'ardesia, la selce ecc.

1215. Alcuni dei corpi nominati cambiano la loro conducibilità o coibenza per una semplice modificazione delle loro molecole. così il vetro molto riscaldato, il solfo, la resina e la cera liquefatta, il legno in ignizione, perdono della loro coibenza. L'acqua, secondo Grotthus, tenuta sotto forte pressione aumenta la sua conducibilità. Il bromo è coibente e tuttavolta alcune gocce di esso rendono molto più conduttrice l'acqua. Un ramo d'albero appena tagliato dalla pianta è buon conduttore, disseccato nel forno diventa coibente, carbonizzato riprende la sua proprietà conduttrice, ridotto in cenere la perde di nuovo. Il ghiaccio alla temperatura non molto inferiore allo zero manifesta qualche grado di conducibilità, e raffreddato a 20° riesce coibente. Il carbone fibroso od in polvere è conduttore, cristallizzato in diamante è coibente. In generale, secondo le sperienze di Volta, il caldo accresce e il freddo diminuisce la conducibilità dei solidi. I legni, la carta, il cuoio, i gusci d'uova, i mattoni e differenti pietre diventano coibenti col calcinarle od abbrustolirle leggermente e principalmente riscaldandole nell'olio bollente, nella cera o nel solfo. Insomma le proprietà e i caratteri fisici e chimici delle materie non hanno verun rapporto colla facoltà conduttrice; la quale si osserva negli stati i più opposti dei corpi: per es. nella fiamma, nell'alcoole e nel ghiaccio.

Incominciando dalle materie più conduttrici e disponendole secondo l'ordine del loro grado decrescente, si giunge a quelle che trasmettono l'elettrico con qualche difficoltà e gli oppongono un ostacolo sensibile al suo passaggio. Questi corpi poco conduttori si accostano ai semicoibenti meglio atti a propagare l'elettrico, dove vi ha una gradazione per cui si perviene a quelli di minore coibenza, i quali pure per gradi giungono al migliore coibente. In tal modo sotto il rapporto della conducibilità si ha una lunga serie decrescente, a capo della quale sta il rame, ed all'estremo opposto un sottile filo di seta coperto di resina.

1216. È circa un secolo che l'elettricità ha incominciato a prendere posto distinto nella scienza, per le scoperte o le invenzioni, di cui è stata successivamente arricchita e va tuttora arricchendosi. Attualmente forma uno dei trattati più copiosi di fatti e più istruttivi ed ameni

della fisica, principalmente dopo le scoperte di Volta e i moltiplici fenomeni elettro-magnetici, che ne sono derivati. Gli antichi conobbero assai imperfettamente la proprietà elettrica nell'ambra e in qualche pietra secondo si ricava da Plinio. Teofrasto, il quale viveva più di 300 anni avanti l'era volgare, ha osservato che l'ambra attrae non solo la segatura di legno ed i minuzzoli di paglia, ma ben anche degli esilissimi frantumi di rame e di ferro. Ma quantunque Teofrasto fra i Greci e Plinio fra i Romani parlino della proprietà elettrica dell'ambra e di altri corpi, essi però la riguardavano come un semplice accidente di forma e di colore, e non s'imaginavano mai ch'essa fosse per divenire il fondamento d'un grande edifizio, d'una lunga serie di scoperte e di verità, e costituire uno dei più ampi e più interessanti rami della fisica.

Gilbert, che viveva verso l'anno 1600, riscontrò la proprietà elettrica non solo nell'ambra, ma in parecchie pietre preziose, nel solfo, nel vetro, nel cristallo di rocca e in qualche altra materia. Egli ha trovato altresì che uno stropicciamento leggiero e rapido è più proprio d'ogni altro per eccitare nei corpi la virtù elettrica, e che il tempo secco riesce più favorevole allo sviluppo di tale proprietà, essendo di molto indebolita ed anche del tutto distrutta dall'umidità dell'aria e dall'alito degli animali. Nello stesso secolo in Italia gli Accademici del Cimento estesero il numero delle materie elettrizzabili per istropicciamento, ed arricchirono questo nascente ramo della fisica di parecchie osservazioni sulle circostanze che influiscono a far variare le attrazioni elettriche. A malgrado di tante nuove verità e nuovi fatti, l'elettricità non formò soggetto di scienza se non circa un secolo dopo, allorquando Ottone Guerike ed Hausbee imaginarono un congegno per avere in abbondanza elettrico: il primo da un globo di solfo, e il secondo da un gran cilindro e da un globo di vetro. Venti anni dopo, cioè nel 1727, Gray trovò il modo di elettrizzare per comunicazione; e 6 anni più tardi ancora Dufay scoprì i due stati elettrici opposti. Da quell'epoca l'elettricità andò continuamente crescendo di nuovi fatti e di nuove scoperte per le fatiche e gli studi di tanti illustri scrutatori della natura, ed è consolante di vedere che fra essi primeggiano molti figli della nostra Italia. In tal modo l'elettricità venne a mettersi nel novero delle prime scienze, che nacquero, crebbero e giunsero ad un alto grado di perfezione dopo il risorgimento dei buoni studi in tutta l'Europa.

1217. Importa al nostro assunto di far cenno del modo con cui Gray giunse a scoprire il metodo di elettrizzare per comunicazione;

dovendosi riguardare come un gran passo fatto in questo ramo delle umane discipline. Gray, conoscendo che un tubo di vetro aperto alle due estremità si elettrizzava collo stropicciamento, volle sperimentare se si conseguiva lo stesso risultato chiudendolo con tappi di sovero, essendo a quell'epoca la scienza così poco avanzata che si tentava tutto all'azzardo. Istituendo egli l'esperimento, s'avvide con meraviglia che il tappo aveva pure acquistato l'elettricità, ciò che non gli riuscì mai strofinandolo direttamente. Un cilindretto di metallo fitto nel tappo diventava pure elettrizzato, e sostituendone altro più lungo otteneva l'egual effetto. Bramando di riconoscere sino a quale lunghezza si elettrizzava il filo, salì al primo, e poscia al secondo ed al terzo piano della casa, lasciando pendere il filo metallico sin quasi al suolo, dove vide che attraeva ancora i piccoli corpi e dava i segni elettrici. Cercò poscia di propagare l'elettrico in direzione orizzontale ad una grande distanza per mezzo d'una fune di canapa, una cui estremità si congiungeva col tubo di vetro stropicciato ed all'altra portava una palla d'avorio, essendo tenuta sospesa da funicelle pure di canapa. Fatta la prova, vide che la palla d'avorio non acquistava la proprietà elettrica.

Scoraggiato per la non riuscita dell'ultima sperienza, Gray aveva perduto ogni speranza di dirigere il fluido elettrico orizzontalmente, allorquando Wheeler gli suggerì la felice idea di sospendere la fune di canapa con cordoncini di seta. Questa sostituzione contribuì al buon esito dell'esperimento, e i due fisici videro che l'elettrico si diffondeva lungo la fune di canapa sino alla palla d'avorio. Ecco dunque i corpi conduttori dell'elettrico, la canapa ed il metallo, e i corpi isolatori, la seta e l'aria; ed ecco come nacque il metodo di elettrizzare per comunicazione, metodo che fu fecondo di molte sperienze e dell'invenzione della macchina elettrica che si conosce oggidì.

1218. Della causa produttrice dell'elettricità e della forza che ne mette in movimento il fluido, detta da Volta e in seguito da tutti i fisici *forza elettromotrice*, non si hanno che congetture ed ipotesi. L'esperienza c'istruisce intorno alle circostanze sotto le quali essa si sviluppa con più o meno energia. Il carattere distintivo di tale forza è di mettere i corpi in contrario stato elettrico, come quanto prima dimostreremo. Il fluido posto in azione dalla medesima produce diversi fenomeni, i più ovvii dei quali costituiscono i *segni elettrici*, da cui siamo avvertiti della nuova proprietà acquistata dai corpi. Molti altri sono *effetti dell'elettrico* propriamente

detti, che si producono sulla materia ponderabile, e possono essere meccanici, fisici, chimici e fisiologici

I mezzi di eccitare l elettrico e gli effetti ch' esso produce sui corpi andarono ogni giorno sempre più crescendo di numero, a misura che le sperienze si moltiplicarono e che i metodi d' investigazione si perfezionarono. Nello stato attuale della scienza si può asserire che non siavi modificazione meccanica fisica o chimica senza che si risvegli nei corpi l'elettricità Vedremo nel corso di questo capitolo che, oltre lo stropicciamento, si danno parecchi mezzi per isviluppare l'elettrico e per metterlo ben anche in movimento per circuiti continui, producendo la corrente. Dobbiamo però fino ad ora fare una distinzione dei fenomeni, che presenta quel fluido allo stato d'equilibrio sui corpi e in quello di corrente continua per un circuito Nel primo caso si mostrano gli ordinari segni elettrici, e basta toccare il corpo colla mano o metterlo in qualsiasi altra maniera in comunicazione col suolo per fare scomparire ogni indizio d'elettricità e per ridurre il tutto allo stato naturale. Nel secondo invece il corpo è pure elettrizzato, e sinchè l'elettrico transita per esso in corrente continua non si manifesta più verun segno elettrico ordinario, non devia dal suo cammino quantunque si tocchi il corpo che percorre, ma invece hanno luogo decomposizioni chimiche, riscaldamento, effetti magnetici ed altri fenomeni, che faranno parte dei nostri studi Osserviamo intanto che nei due casi si offrono due categorie distinte di fenomeni la prima dipendente dall'equilibrio dell'elettrico e dalla tensione che mostra in tale stato, e quindi dall'*elettricità statica*, la seconda dal movimento del medesimo in corrente continua pei corpi o dall'*elettricità dinamica*. Divideremo quindi questo capitolo in tre sezioni, nella prima delle quali studieremo le leggi dell'*elettricità statica* e gli apparati che ne dipendono, la seconda si aggirerà nel 'egual modo sull'*elettricità dinamica;* ed infine nella terza ci occuperemo degli *effetti dell'elettrico* prodotti nei due differenti casi.

SEZIONE I.

Dell' elettricità statica.

1219. Per procurarsi l'elettrico comodamente e in quantità sufficiente alla sicura manifestazione dei fenomeni, si è costrutto un apparato apposito conosciuto sotto il nome di *macchina elettrica*. Ognuna di queste macchine si compone di due specie di corpi,

di conduttori e di coibenti, ma per riguardo all'ufficio cui sono destinati essi ne formano quattro parti distinte, cioè il *corpo stropicciato*, lo *stropicciatore*, il *conduttore* e l'*isolatore*. Le macchine elettriche si distinguono secondo la forma del corpo stropicciato, e si hanno le *macchine a disco*, *a cilindro* ed *a globo*.

La macchina elettrica più comunemente in uso è a disco, e si compone d'un disco di cristallo A, che è il corpo stropicciato (fig. 255), degli strofinatori B, del conduttore principale C e dell'isolatore D. Il disco ha infisso nel suo centro un asse munito del manubrio *m*, con cui si fa girare appoggiandosi sopra due sostegni verticali. Gli strofinatori sono due coppie di cuscinetti B di cuoio o di marocchino pieni di crine, spalmati d'amalgama e tenuti aderenti al disco dall'elasticità d'una molla. Due quadranti opposti del disco sono coperti di taffetà gommato, affine d'impedire la dispersione dell'elettrico avanti che il disco stesso giunga di contro ai rami del conduttore.

Il conduttore C è un cilindro cavo di metallo ed ordinariamente di ottone a superficie ben liscia, che termina ad un'estremità in emisfero ed all'altra si partisce in due rami pure cilindrici *b*, *c*, incurvati a semicerchio ed armati spesso di punte metalliche rivolte verso la superficie del disco. Le punte e i rami incurvati sono destinati a ricevere ed a trasmettere sul conduttore l'elettrico sviluppato nello stropicciamento. La forma, che hanno gli estremi dei due rami muniti di punte, è rappresentata a parte in F. Il corpo con cui è isolato il conduttore consiste in una o al più due colonnette D di materia coibente, le quali sono tanto più adatte a tale ufficio quanto più sono lunghe e sottili. Ottimi riescono all'uso i cilindretti di vetro liscio coperti d'uno strato di ceralacca.

1220. Avanti di far conoscere le altre macchine elettriche, giova di fare alcune considerazioni su ciascuna delle parti componenti quella a disco, applicabili ad ogni specie delle medesime. La produzione dell'elettrico è tanto più copiosa quanto più ampia è la superficie stropicciata essendo maggior il numero di punti eccitati. La grande macchina elettrica del museo di Harlem in Olanda consta di due dischi di vetro del diametro ciascuno di metri 1,65 (poll. ingl. 65) infissi nel medesimo asse e distanti fra loro di centim. 19 (poll. 7 $^1/_2$). L'azione elettrica di questa macchina si fa sentire in un tempo favorevole alla distanza di 12 metri, dando delle scintille della lunghezza di più di 60 centimetri. Con un solo giro si caricano le maggiori batterie delle migliori macchine elettriche comuni, e basta una tale carica perchè facciano scoppio da

sè a guisa del fulmine. Le macchine di queste dimensioni producono in brevissimo tempo una gran quantità d'elettrico; il che dimostra quanto influisca la grandezza della superficie stropicciata per accrescerne l'effetto. Una macchina ben costrutta, il cui disco abbia un metro di diametro, è sufficiente per le dimostrazioni nella scuola, e se ne danno di quelle di minori dimensioni che per la qualità del vetro ed una costruzione bene combinata non producono effetti minori. Il vetro di recente composizione è il meno proprio pel disco della macchina elettrica, come pure il vetro contenente troppo alcali fisso, che attrae prontamente l'umidità, la quale influisce moltissimo alla dispersione dell'elettrico eccitato. Le macchine a disco di solfo, a disco di vetro coperto di parecchi strati di resina o di ceralacca cogli stropicciatori di pelle di gatto o di lontra, quantunque servibili per alcune dimostrazioni nella scuola, sono però sempre di minor effetto delle macchine comuni di vetro d'eguali dimensioni.

I cuscinetti debbono adempiere alle funzioni di buoni conduttori nelle parti a contatto del disco, e di cattivi conduttori nella parte opposta, onde l'elettrico non rifluisca pel loro dorso, per cui alcuni preferiscono i cuscini di seta a quelli di pelle. La loro forma sia adatta ad uno stropicciamento esteso e durevole, ed è per ciò che si riempiono di crine anche per renderli cedevoli a qualunque difetto di centralità e di parallelismo del disco. Le coperture di taffetà di due quadranti opposti del disco, oltre servire allo scopo indicato, fanno in certo qual modo da stropicciatori, e secondo l'opinione di qualche fisico duplicano l'effetto della macchina.

Il cuoio o il marocchino dei cuscinetti sviluppa non molto elettrico stropicciato col vetro per le ragioni che quanto prima apprenderemo. A tale ufficio adempiono meglio i composti metallici. E appunto per ciò che alla superficie dei cuscinetti è applicata l'amalgama di stagno, e meglio quella formata di mercurio unitamente ad altrettanto di stagno e zinco a parti eguali, riunendo questi due metalli al fuoco e poscia mescolandoli col mercurio. Si applica ai cuscinetti spalmandoli dapprima colla mescolanza di sego e cera (1). Alcuni adoprano ancora, invece dell'amalgama indicato, che è migliore, il deuto-solfuro di stagno conosciuto volgarmente sotto il nome di *oro musivo*.

(1) Per la composizione dell'amalgama, vedi *Annali di fisica* ecc., seconda serie, t. II, pag. 321.

In riguardo alle dimensioni del conduttore non si hanno che dati arbitrarî: in una macchina a disco della superficie di circa un metro quadrato, il conduttore deve avere secondo alcuni la lunghezza di circa 1 metro e il diametro di 14 centimetri. Il conduttore può essere anche di cartone rivestito di foglie metalliche. I due rami si avvicinano al disco alla distanza di circa 1 centimetro in modo che l'elettrico che si sviluppa possa facilmente passare sul conduttore per mezzo delle punte o per piccoli cilindretti collocati parallelamente al disco. Gherardi ha trovato qualche vantaggio a disporre verticali i due cilindretti per assorbire l'elettrico del disco invece di tenerli orizzontali, perchè le punte stanno per maggior tempo in presenza del corpo elettrizzato e ciò che non ha potuto operare la prima punta l'opera la seconda. D'altronde le punte stesse essendo meno prossime all'asse ed all'orlo del disco non possono disperdere nell'aria e nel suolo l'assorbita elettricità (1). In alcuni casi il conduttore primario si suole mettere in comunicazione mediante catenelle metalliche con conduttori secondarî appesi alla soffitta della stanza per mezzo di sottili cordoncini di seta. Quest'aggiunta non è applicabile che per le grandi macchine elettriche, affine di presentare una maggior capacità alla carica elettrica.

La condizione essenziale si è che il conduttore della macchina non comunichi in veruna maniera coi corpi circostanti, e perciò è sostenuto da una o due colonnette di vetro. Questi sostegni devono essere almeno dell'altezza di 4 decimetri e coperti di vernice di gommalacca per impedire il deposito dell'umidità che toglierebbe l'isolamento. Si prendano più che sia possibile sottili onde presentare all'elettrico la minima superficie per farsi strada e disperdersi nel suolo.

1221. Allorquando la macchina elettrica è in buono stato, l'aria asciutta e la stanza ventilata si sente uno strepitio, che è indizio d'abbondante produzione d'elettrico. A malgrado del favorevole stato dell'atmosfera, gli effetti infievoliscono coll'uso della macchina in causa che la superficie dei cuscinetti si appiana e rende meno efficace lo stropicciamento, non facendo il disco che sdrucciolare sui cuscinetti medesimi. Rinnovando l'amalgama si rende alla macchina il primitivo vigore, e si ridona altresì in tutto od in parte la primitiva attività sfregando l'uno contro all'altro i cuscinetti o streggiandoli con una spazzola a grosse setole. Si ottiene pure qualche vantaggio girando il disco in contrario verso.

(1) *Annali di fisica, chimica* ecc. [illegible] t. 31 pag. 71

Spesso avviene che gli effetti diminuiscono in causa d'umidità depositata sul disco o sui cuscinetti. Vedremo meglio in seguito quanto importi con carboni ardenti di promuovere una corrente d'aria calda sul disco, ed anche esporre al fuoco direttamente la superficie strofinante dei cuscinetti. Può essere altresì utile di distendere in simili casi un levissimo strato di sego sul disco (1).

Gli effetti della macchina si accrescono coll'aumentare la velocità di rotazione del disco, l'accrescimento però è molto limitato per dar tempo all'elettrico di scaricarsi sul conduttore. Alcuni fisici italiani hanno cercato di trarre profitto da questo principio disponendo il disco orizzontalmente e mettendolo in moto col mezzo d'una ruota dentata e d'un rocchetto. Questa macchina ha sei paia di cuscinetti, i quali moltiplicando lo stropicciamento tendono ad accrescere gli effetti della macchina (2).

1222. Le macchine a *cilindro* ed a *globo* riescono molto comode in alcune circostanze, quantunque non diano in tanta copia elettrico come quelle a disco. Il pezzo principale è un cilindro o un globo di cristallo cavi infissi pel loro asse in un albero, che si fa girare sopra due sostegni verticali come il disco. Lo stropicciatore consiste in un ampio cuscinetto, che s'incurva adattandosi esattamente sulla superficie del cilindro o del globo. Alla parte opposta del cuscinetto è collocato il conduttore principale, il quale con una specie di pettine attrae a sè l'elettrico, che va sviluppandosi sulla superficie del corpo stropicciato. Un pezzo di taffetà attaccato al cuscinetto difende la superficie stropicciata dal contatto dell'aria sino al punto in cui si presenta al pettine del conduttore. La figura 256 è una macchina a cilindro con due conduttori, su l'uno dei quali A fornito delle punte si accumula l'elettrico sviluppatosi sulla superficie, e l'altro B in comunicazione col suolo fornisce il fluido allo stropicciatore.

1223. Vi ha inoltre la *macchina elettrica a campana*, nella quale si riuniscono i vantaggi di quelle a cilindro ed a disco. Essa occupa poco spazio ed è assai comoda nell'uso, producendo degli effetti non inferiori a quelli della macchina a disco. Il corpo stropicciato è una campana A di vetro (fig. 257), disposta verticalmente sopra un asse colla bocca rivolta all'insù. L'asse è ben assicurato in due cavità, nelle quali si fa girare mediante il manubrio M, che comunica il moto all'albero coll'intermedio di ruote dentate. Tutto questo congegno è

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. I, pag. 291.
(2) *Antologia* di Firenze, fascicolo d'agosto, 1824, pag. 159.

piantato sopra il piedestallo P, sul quale s'innalzano quattro colonnette di vetro poste ad eguale distanza fra loro intorno alla campana e ciascuna di esse terminata in un globo d'ottone. Due di queste colonnette vedonsi in B, C. La colonnetta B e l'altra diagonalmente opposta, non rappresentata nel disegno, sostengono due coppie di cuscinetti, con cui nella rotazione è stropicciata la superficie interna ed esterna della campana. La terza colonnetta C unitamente alla quarta diagonalmente opposta portano ciascuna il pettine, che attrae l'elettrico dalla superficie esterna del vetro, e l'accumulano sui rispettivi globi, che servono di conduttore principale di questa macchina elettrica.

1224. Faremo in seguito conoscere qualche altra machina elettrica a stropicciamento, come pure le seguiremo nei loro movimenti, per vedere come si sviluppi e si accumuli sul conduttore l'elettrico. Intanto siamo in grado, in virtù di questo accumulamento, di mostrare in una maniera più distinta e più sicura i segni, che debolmente si ottenevano eccitando colla mano l'elettricità sul cilindro di vetro (§. 1213). Una pallina di sambuco appesa ad un filo di lino è attratta dal conduttore elettrizzato alla distanza ben anche di più d'un metro. Avvicinando parallelamente al conduttore il palmo della mano si prova distintamente la sensazione del titillamento; accostando ad una certa distanza il nodo del dito balena dal conduttore una fragorosa e viva scintilla; infine osservando la machina in azione nell'oscurità, si vede all'intorno degli strofinatori una luce sfuggevole aderente al corpo stropicciato.

Colla machina possiamo sino da questo momento istituire un'esperimento importante per la dottrina dell'elettricità, sul quale ritorneremo più avanti. Piantando sul conduttore un cilindretto acuminato di metallo, oppure tenendolo in mano o in qualunque altra maniera in comunicazione col suolo ed avvicinandolo a poca distanza dal conduttore; diminuiscono considerabilmente su questo in ogni caso i segni elettrici, ed anche spariscono del tutto, secondo la forza della machina. La dispersione dell'elettrico avviene senza rumore, per cui si suol dire che *le punte trasmettono in silenzio l'elettrico*. Il fenomeno è mirabile, osservandolo nell'oscurità: nel primo caso comparisce un *fiocco luminoso* A (fig. 258) cioè un *cono di luce* che ha il suo vertice appoggiato sulla punta da cui sembra uscire, nel secondo una *stelletta luminosa* B che assomiglia a luce che entra per la punta nel cilindretto metallico.

Mettendo in congiunzione un *conduttore secondario* sostenuto da

una colonnetta di vetro col primario della machina per mezzo di diversi corpi, si dimostra alla scolaresca quali siano i coibenti, quali i buoni e quali i cattivi deferenti dell'elettrico. Se il corpo congiungente i due conduttori è un filo od una catenella di metallo, si trova che il secondario manifesta la scintilla e l'attrazione eguale a quella che si ha direttamente dal primario; che se è una bacchetta di legno verde i fenomeni sul conduttore secondario sono indeboliti, e se è un cordoncino di seta od una verga di ceralacca i fenomeni stessi non compariscono.

1225. Avanti di progredire nei nostri studi è della maggiore importanza di dimostrare in una maniera inconcussa che si danno due *stati elettrici opposti*, i quali tendono a distruggersi e si elidono effettivamente quando siano messi in circostanze opportune. Questo principio fondamentale dell'elettricità si dimostra coll'*apparato per le attrazioni e ripulsioni*. Esso consiste in una piccola campana di vetro ABCD (fig. 259), nella cui parte superiore AB sonvi praticate due fessure *pq*, *mn*, dentro le quali scorrono orizzontalmente e si assicurarono con viti due cilindretti metallici *ab*, *cd* terminati superiormente in emisfero. Dall'estremità inferiore pendono due fili di lino portanti due piccole palle *e*, *f* di midollo di sambuco o di sovero, che, col fare scorrere i cilindretti, si discostano più o meno l'una dall'altra. Si abbiano due globi di metallo, munito ciascuno di un manico di vetro, e si elettrizzino toccando il conduttore della machina a disco di vetro: se questo elettrico si porti contemporaneamente sulle estremità *a*, *c* dei due cilindretti, il fluido passerà alle palle *e*, *f*, le quali in tale stato si osserva che si discostano l'una dall'altra. Si scarichi l'apparato e si ripeta l'esperienza attignendo l'elettrico al conduttore della machina a disco di solfo o di ceralacca: in questo caso le due palle si discostano ancora l'una dall'altra. Per decidere se le due elettricità sono veramente della stessa natura, si istituisca una terza esperienza attignendo l'elettrico con un globo al conduttore della machina a disco di vetro e coll'altro a quello della machina a disco resinoso: in questo caso ha luogo il fenomeno contrario, e le due palle *e*, *f* si avvicinano l'una all'altra, ossia si attraggono invece di repellersi. Da questi tre sperimenti si deduce di già che l'*elettricità del vetro e quella delle resine non sono eguali*, giacchè in tal caso dovrebbe succedere la ripulsione anche nel terzo esperimento.

I due stati elettrici non solo sono disuguali, ma opposti ossia scambievolmente si elidono. A dimostrare questa seconda parte della proposizione è acconcia un'antica sperienza istituita sin dal 1732 da

Kinnersley a Boston in America per suggerimento di Franklin (1). Si abbiano due machine elettriche l'una a disco di vetro e l'altra a disco coperto di resina o di solfo. Esperimentando separatamente, i loro conduttori danno l'eguale scintilla ed attraggono i minuzzoli di materia all'eguale distanza. Se i due stati elettrici non fossero opposti, è chiaro che, ponendo in comunicazione i due conduttori e facendo girare contemporaneamente i loro dischi, si dovrebbero manifestare od effetti più energici od almeno effetti eguali a quelli di prima; ma invece si trova o che sono considerabilmente diminuiti se uno dei due dischi giri più lentamente o non sia in buono stato come l'altro, o si annullano del tutto quando si regoli il moto dei due dischi in modo che isolatamente le machine diano eguale scintilla.

1226. Ammesso come principio fondamentale, come verità di fatto che si danno due stati elettrici opposti, i quali si distruggono ben anche vicendevolmente, siamo in grado di far conoscere i sistemi imaginati dai fisici per spiegare i fenomeni elettrici, per congiungere tanti fenomeni e tanti fatti sotto un punto di vista generale e per classificarli con un certo ordine in modo che si presentino sotto forma di scienza. Due sono i sistemi per la spiegazione dei fenomeni elettrici, dei quali, nello stato attuale delle opinioni e della scienza, dobbiamo far cenno.

Alcuni come Franklin, Epino, Volta, Cavendish e Beccaria ritengono l'elettrico un fluido particolare di natura etereo e sottilissimo, sommamente mobile ed elastico, diffuso in tutti i corpi e sul globo da noi abitato. In virtù della ripulsione propria alle sue molecole, e in virtù dell'attrazione per la materia che non ne abbia la dose voluta dalla sua natura esso trascorre e si diffonde equabilmente sui corpi, che ne sono in difetto, e sulla terra, a meno che qualche ostacolo gli si opponga nel suo cammino. Sinchè il fluido trovasi unito ai corpi nella quantità richiesta dal loro stato naturale per l'equilibrio con quello sparso negli altri circonvicini, esso resta in quiete, inoperoso, non producendo alcun fenomeno e non dando indizio della sua esistenza. Ma, allorquando con qualche forza se ne disturba l'equilibrio, dà segni della sua presenza, e si manifesta in una maniera più o meno energica secondo che lo squilibrio è più o meno grande. Il corpo, che contenga la dose d'elettrico necessaria al mentovato equilibrio, si suol dire che è *allo stato naturale*. Quando

(1) *Expériences et observations sur l'électricité* par Franklin, tradotte dall'inglese da d'Alibard. Parigi 1756, t. II, pag. 164.

ne abbia una dose maggiore dello stato naturale, allora è *elettrizzato in più*, ossia *in eccesso* o *positivamente*, e nel caso ne contenga una dose minore diventa *elettrizzato in meno*, ossia *in difetto* o *negativamente*. Nel primo caso i fenomeni sono prodotti dal torrente elettrico, che dal corpo, dov'è accumulato, si slancia sui circonvicini e sul globo, nel secondo si ottengono pel passaggio del fluido dal globo e dai corpi circostanti in quello elettrizzato. Confricando assieme i due corpi, si mette in azione la forza che squilibra l'elettrico ai medesimi naturale, l'uno dei quali si elettrizza positivamente e l'altro negativamente. Nella machina elettrica a disco di vetro, lo stropicciamento risveglia la forza elettromotrice, ed a spese del fluido proprio dei cuscinetti si accumula l'elettrico sul corpo stropicciato, donde passa per le punte sul conduttore. La stelletta luminosa e tranquilla delle punte poste dirimpetto al disco indica infatti un fluido rientrante. Che se il disco è di solfo o di resina, si scorge sulle punte un fiocco o un razzo, che indicano un fluido uscente, per cui nello stropicciamento il disco si elettrizza negativamente, i cuscinetti positivamente, e il conduttore scarica per le punte sul disco il suo fluido naturale e ne rimane in difetto. Questo modo di ravvisare i fenomeni elettrici è stato chiamato *sistema d'un sol fluido*, o *degli unitari*, o *sistema meccanico*, perchè secondo il medesimo i fenomeni avvengono per un semplice squilibrio, cioè per condensamento e rarefazione.

Un'altra ipotesi è stata messa avanti da Symmer e seguita da Coulomb ed altri per la spiegazione dei fenomeni elettrici. Suppone egli che l'elettrico, diffuso nella natura, sia un fluido composto di due sostanze particolari, dotate delle stesse proprietà meccaniche, della stessa mobilità, della stessa elasticità e della stessa tendenza a diffondersi, che hanno tra loro una grande affinità, per la quale cercano di combinarsi assieme e di neutralizzarsi. Vuole egli che i due fluidi nella loro composizione mettano allo stato naturale i corpi senza che in questi abbiasi alcun potere di manifestarsi, quando invece trovandosi separati e divisi li mettono allo stato elettrico. Il fluido che si sviluppa sul vetro liscio strofinato col pannolano venne da lui chiamato *fluido vitreo* od *elettricità vitrea*, e denominò *fluido resinoso* od *elettricità resinosa* l'altro, che si eccita stropicciando collo stesso pannolano la ceralacca o le resine. Lo stropicciamento nella machina elettrica ordinaria opera la decomposizione del fluido naturale ai due corpi, e il disco di vetro s'impossessa dell'elettricità vitrea, mentre i cuscinetti di quella resinosa. Al contrario succede nella machina a disco di solfo. L'ipotesi di Symmer vien chiamata

sistema dei due fluidi o *dei dualisti* oppure *sistema chimico*, perchè si suppone decomposizione e composizione.

Tanto nell'uno che nell'altro sistema il nostro globo e tutti i corpi sono considerati come la stanza dell'elettrico, e in ciascuno se ne contiene la quantità voluta dal loro stato naturale. È sotto questo punto di vista che in ambidue i sistemi il globo per la sua estensione vien considerato come il *grande*, il *serbatoio universale* dell'elettrico. Nella coordinazione e nella spiegazione dei fenomeni dell'elettricità i fisici seguono piuttosto l'uno che l'altro sistema secondo le loro particolari opinioni. In Italia è dai più adottato il primo ed in Francia il secondo. In Inghilterra ed in Germania e presso altre nazioni incivili te si segue di preferenza o l'uno o l'altro sistema. Ma per una bizzarria inesplicabile anche coloro, che d'ordinario si servono del sistema dei dualisti per l'elettricità statica, adottano per quella dinamica il linguaggio degli unitari non potendosi in verun modo coi due fluidi concepire la corrente nel circuito. Noi non ci faremo a discutere quale sia il migliore dei due sistemi per la spiegazione dei fenomeni elettrici, non dovendosi il sistema considerare, lo ripetiamo, una verità ma una maniera comoda e facile per la coordinazione dei fatti e dei fenomeni che appartengono alla scienza. Adotteremo però il sistema d'un sol fluido perchè si presenta più consentaneo alla realtà, principalmente nei fenomeni dinamici, perchè presta un linguaggio più conforme ai fatti ed alla ragione, perchè è quello seguito dai padri della scienza e dai sommi elettricisti italiani, e perchè infine rende più facile il passaggio all'etere universale, in cui sembrano rannodarsi le cause da cui dipendono i differenti fatti e l'indefinita serie di fenomeni degli imponderabili (§. 735).

1227. È legge generale che, diventando due corpi elettrizzati per mezzo dello stropicciamento o di qualunque altra forza, l'uno lo è positivamente e l'altro negativamente. Le diverse materie prendono o stato elettrico positivo o negativo secondo la loro natura e quella del corpo con cui sono stropicciate. Nella seguente serie ogni corpo si elettrizza in più quando si stropicci con quelli da cui è seguito, e in meno quando lo strofinio si faccia cogli altri da cui è preceduto. — *Pelle di gatto* — *pelle di coniglio* — *pelle di lepre* — *feltro* — *tormalina* — *vetro liscio* — *pannolano* — *piuma* — *legno* — *carta* — *seta* — *ceralacca* — *cera bianca* — *colofonia* — *solfo* — *metalli*, principalmente l'*oro* ed il *mercurio*.

Stropicciando un corpo con un altro della stessa natura e posto nelle stesse circostanze, per es., un nastro di seta con altro eguale

nella qualità, nella finezza, nel colore, nella temperatura ecc., non si ha sviluppo d'elettricità. In questo caso però l'esperienza dimostra che basta una lieve alterazione nelle molecole di uno dei due corpi, o un diverso trattamento nell'operazione per ottenerli allo stato elettrico opposto. Infatti, nel caso dei due nastri, se lo stropicciamento non vien fatto egualmente sopra ambidue, essi si elettrizzano prendendo lo stato negativo quello che è maggiormente strofinato. Disposti a tale intento i due nastri in croce, si tenga l'uno di essi fisso e teso e si muova l'altro come se si operasse colla sega per dividere il primo. Il nastro in quiete proverà uno strofinamento maggiore in quella parte sempre sottoposta all'azione dell'intera lunghezza dell'altro, ed appunto il primo si trova in quel sito elettrizzato negativamente, mentre il secondo lo è positivamente in tutta la lunghezza che ha provato lo strofinio. Se i due nastri sono bianchi, strofinandoli l'uno contro l'altro longitudinalmente o facendo loro provare egual effetto nell'operazione, non si elettrizzano, ma se uno di essi è tinto di nero, allora l'elettrizzazione ha luogo prendendo il nero lo stato negativo.

Non si conosce alcun rapporto fra la natura e costituzione dei corpi e lo stato elettrico, che essi prendono mediante lo stropicciamento. Dalle molte sperienze istituite si può soltanto dedurre in generale che, *di due corpi stropicciati, quello, il quale ha le parti meno discoste dalla loro posizione naturale di quiete, mostra disposizione ad elettrizzarsi per eccesso, venendo questa tendenza accresciuta colla compressione: quello invece, le cui molecole sono più discoste, è inclinato a prendere lo stato elettrico in difetto, essendo questa sua disposizione accresciuta colla rarefazione*. È appunto per ciò che col riscaldamento si predispongono i corpi ad essere elettrizzati in meno, mentre col raffreddamento si dà loro la tendenza ad essere elettrizzati in più. I due nastri bianchi precedenti stropicciati l'uno contro l'altro non si elettrizzavano, ma uno di essi si riscaldi mentre l'altro si lascia alla temperatura ordinaria: ha luogo allora lo sviluppo dell'elettricità prendendo il primo lo stato negativo e il secondo positivo. Il polimento in generale fa acquistare al corpo l'elettricità per eccesso, e le scabrosità per difetto. Due lastre di vetro, sfregate l'una contro l'altra, si elettrizzano difficilmente, o se si elettrizzano prendono bensì lo stato opposto come ha provato Epino, ma ora la stessa specie di elettricità apparteneva all'una ed ora all'altra delle due lastre. Che se una di esse è previamente smerigliata e resa scabra alla sua superficie, allora, nello stropicciamento delle due lastre fra loro, quella a superficie liscia si elettrizza sempre positivamente, e l'altra a superficie scabra negativamente.

Dunque non solo il coloramento e il modo con cui vien fatto lo strofinio, ma in generale la disposizione delle molecole e delle fibre, la forza con cui sono premuti i corpi l'uno contro l'altro, lo stato delle superficie producono dei risultati analoghi. Lo sviluppo d'elettrico succede con tanto più grande energia quanto è maggiore l'opposizione di queste circostanze, ed all'inverso si ha minore sviluppo quanto più le superficie dei corpi si assomigliano e si trovano nelle eguali circostanze. È appunto in causa di queste differenze e modificazioni delle materie poste a cimento, che hanno origine le discrepanze riscontrate da alcuni autori nell'assegnare la specie di elettricità, che prende un corpo relativamente all'altro con cui è stropicciato. La ceralacca stropicciata con una lastra o foglia metallica si elettrizza positivamente secondo Zamboni (1), mentre Biot ha trovato che, stropicciando una lastra di rame con una verga di solfo, ora l'uno ed ora l'altro corpo prende l'elettricità positiva, senza che si possa riconoscerne la causa (2). Avendo riguardo a queste circostanze, parecchi dei metalli strofinati colle resine si elettrizzano negativamente (3). Nella scala precedente dunque o nell'ordine delle materie che si elettrizzano per istropicciamento, i metalli occupano l'estremo negativo, mentre la pelle di gatto e le pelli fine sono poste all'estremo positivo.

Vi ha un numero indefinito di materie fra i due estremi della scala elettrica, i metalli e le pelli fine, un numero indefinito di corpi i quali si accostano più all'uno che all'altro estremo e si elettrizzano positivamente o negativamente secondo che la materia con cui si stropicciano è posteriore od anteriore nell'ordine della scala e tanto più quanto più questa materia si discosta da essi. Così il vetro liscio si elettrizza positivamente stropicciato col pannolano, ma prende maggiore elettricità positiva se si stropiccia colla seta, ed ancor maggiore col solfo, e più ancora coi metalli. Ecco la ragione perchè i cuscinetti della machina elettrica a corpo stropicciato di vetro si spalmano con amalgama di metallo (§. 1220).

1228. Non solo i corpi solidi stropicciati l'uno coll'altro si elettrizzano, ma ben anche i solidi coi fluidi ed i fluidi fra loro danno nello stropicciamento segni di elettricità. Dessaignes immergeva ed estraeva

(1) Zamboni, *Elettromotore perpetuo*. Verona 1820, t. I, pag. 26.

(2) Biot, *Traité de physique* ecc. Parigi 1816, t. II, pag. 354.

(3) Vedi su questo argomento le sperienze di Perego negli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XII, pag. 68.

prestamente dal mercurio delle verghette di solfo, di cera comune, di ceralacca, di vetro, come pure dei rotoli di carta, di cotone, di seta e di lana, e nella confricazione subita da queste materie contro il mercurio diventavano più o meno elettrizzate (1). Perego ha ripreso queste sperienze e le ha estese esaminando principalmente l'elettricità che prende il liquido metallico nella confricazione nato coi corpi solidi, che tuffava in esso (2). In queste sperienze il fisico italiano ha trovato che il mercurio si elettrizza negativamente cimentato nella maniera indicata coll'amatista, colla stearina, coi tessuti di cotone, col cristallo di rocca, colla pelle di gatto, col solfo e col vetro. Da quest'ultimo risultato si apprende pure il buon effetto dell'amalgama applicata sugli strofinatori della macchina elettrica a disco di vetro. Perego ha altresì studiata l'elettricità, che si sviluppa nel mercurio passando pei pori dei legni, dei tessuti e di altre materie consimili. Esso prende lo stato ora positivo ed ora negativo; ma ciò che importa di notare si è che l'amalgama molle di stagno obbligata a passare pei fori del legno si è sempre elettrizzata negativamente (3), per cui essa è un corpo eminentemente negativo, e riesce quindi molto propria come strofinatore della machina elettrica. Il vetro del vaso, dove si contiene del mercurio, si elettrizza per lo sfregamento che ne nasce dal semplice moto ondulatorio del liquido.

Materie diverse, ridotte in minutissime particelle ed in finissima polvere, si lasciano cadere come ha fatto Volta pei fori d'uno staccio, o si slanciano pel cannello del soffietto sopra un piatto sorretto da un isolatore: in tali operazioni manifestano lo stato elettrico per lo stropicciamento subito contro l'orlo dei fori o del cannello (4). Coulomb, agitando dei nastri di seta nell'aria, li trovò elettrizzati pel loro stropicciamento contro l'aria (5). Dirigendo una corrente d'aria contro materie coibenti queste si elettrizzano, come ha provato Beccaria (6).

1929. Da un getto di vapore uscente dalla caldaia d'un'ordinaria machina fu osservata la prima volta la comparsa di elettricità; e sull'origine di un tal fenomeno s'istituirono poscia parecchie sperienze

(1) *Annales de chimie et de physique*, seconde serie, t. II, pag. 39.

(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. VI, pag. 25.

(3) Si vegga la Memoria di lui nel t. III, pag. 427 di questi ultimi *Annali*, e per l'amalgama, pag. 437.

(4) *Collezione delle opere* di Volta, t. II, parte seconda, pag. 255 e seguenti.

(5) Vedi Biot *Traité de physique* ecc. t. II, pag. 359.

(6) *Elettricismo artificiale*. Bologna, pag. 322, § 764.

e si emisero differenti opinioni (1). Faraday lo prese in esame e mostrò che l'eccitamento dell'elettricità dipendeva dallo sfregamento di globuli acquei violentemente sospinti dal vapore contro le pareti del tubo da cui escono, o contro corpi che loro attraversano il cammino, variando essa di specie secondo la qualità della materia con cui i globuli stessi subivano la confricazione (2). Su questo principio Armstrong costrusse poscia la *machina elettrica a vapore* o *machina idroelettrica*, che si presta non solo per tutte le sperienze delle machine a disco ed a cilindro, ma estendesi pei fenomeni dell'elettricità dinamica (3).

La caldaia per la generazione del vapore consiste in un cilindro formato di robuste lastre di ferro (fig. 280), di diametro più o meno grande secondo le dimensioni, che si desidera di dare alla machina. Quella del gabinetto di fisica della R. Università di Torino ha la lunghezza di centimetri 80 e il diametro di 36. Per un terzo del diametro lo spazio cilindrico AB è occupato dalla caldaia propriamente detta, dove si versa l'acqua da essere convertita in vapore, gli altri due terzi comprendono il focolare ed il ceneratoio. Tutto l'apparecchio è sorretto da quattro colonnette di vetro dell'altezza di circa un metro, per le quali è isolato dal suolo. La caldaia è munita del tubo F pel fumo, della valvola di sicurezza V, del tubo idrometrico T che indica l'altezza cui si trova l'acqua nella caldaia, e della chiavetta C d'uscita del vapore; il quale, quando entra nei quattro tubetti di ferro circondati dalla scatola d'ottone S, forma altrettanti getti, che vanno a colpire la fila di punte sostenute dal piede P in parte di vetro e munite superiormente d'un globetto d'ottone con appendice.

Tutto l'artificio per l'eccitamento dell'elettricità è rinchiuso nella scatola S. Affinchè si operi lo sviluppo di elettrico è d'uopo soddisfare a due condizioni: 1ª che globuli d'acqua si formino e sfreghino contro la superficie interna dei tubetti d'uscita del vapore; 2ª che il vapore stesso abbia abbastanza tensione da trasportare con celerità questi globuli d'acqua, tosto che hanno subito lo stropicciamento contro i tubi. Per ottenere la seconda condizione bisogna dare al vapore la tensione di alcune atmosfere e quindi riscaldare l'acqua nella caldaia ad una temperatura elevata. Questa grande elevazione di tem-

(1) *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. IV, pag. 265 e 276; t. V, p. 9 e 74, t. VI, pag. 48, t. XVI, pag. 278, e t. XVIII, pag. 456.

(2) Gli stessi *Annali*, t. XIII, pag. 58 e t. XV, pag. 204.

(3) Gli stessi *Annali*, t. XIII, 284.

peratura impedisce la formazione dei globuli d'acqua e rende difficile il conseguimento della prima condizione. L'artifizio dunque deve essere diretto in modo d'avere contemporaneamente una grande tensione ed i globuli d'acqua. Al quale scopo nella scatola S s'introduce dell'acqua alla temperatura ordinaria e ad un'altezza tale da non toccare i tubetti di ferro, da cui è attraversata. Stami di bambagia avvolgono nell'interno della scatola i tubetti e pescano colle loro estremità in quell'acqua; la quale per la capillarità ascende e tiene inumiditi i tubetti medesimi. Il canaletto *f* mette in comunicazione la capacità della scatola col fumaiolo F della caldaia, e scarica l'acqua di evaporazione che si forma pel calorico comunicato agli stami. Quest'evaporazione raffredda i tubetti, ed obbliga parte del vapore, che sfugge per essi, a convertirsi in globuli liquidi sfregando contro la superficie da cui sono rinchiusi. Affinchè dopo lo sfregamento i globuli non comunichino ancora l'elettrico alla macchina, ciascun tubetto ha un canaletto di legno *ab* innestato (fig. 261) verso il foro d'uscita, ed un cappelletto d'ottone che obbliga il getto di vapore a prendere un giro tortuoso come indica la freccia. Con questo artifizio si ottengono dunque i globuli acquei, si lascia al vapore forza bastante per ispingerli con veemenza lungo i tubetti, e per distaccarli tosto che hanno provato lo sfregamento.

Nello sfregamento dell'acqua contro il ferro, il liquido si elettrizza in più, ed il solido resta elettrizzato in meno. Se quindi si mette in comunicazione col suolo il globo P (fig. 260), mediante una catenella metallica, si avrà dalla caldaia l'elettricità negativa ed accostandovi il conduttore M ne balenerà la scintilla. L'elettricità positiva si ha accumulata sul globo di P togliendo la catenella per lasciarlo isolato e facendo invece comunicare col suolo la caldaia. L'acqua è meglio che sia pura, e perciò bisogna preferire la piovana a quella di fonte, che si riscalda a 2 sino a 5 atmosfere. Le punte di P si collocano assai vicino ai getti di vapore nelle sperienze in cui si desidera gran quantità d'elettrico senza curarsi della lunghezza delle scintille; ma per ottenere delle lunghe scintille si collocheranno le punte a maggiore distanza, la quale varia secondo la tensione del vapore.

1250. Nelle macchine elettriche a disco di vetro, i cuscinetti tenuti isolati si elettrizzerebbero negativamente, mentre il disco stesso si elettrizza positivamente. All'appoggio di questo principio si è costrutta la macchina a disco di vetro in modo d'averne a piacimento tanto l'elettricità positiva quanto la negativa. Essa è rappresentata nella fig. 262, dove il conduttore principale è il globo d'ottone G

ed i cuscinetti sono congiunti coi due globi *g* pure d'ottone, sostenuti ogni paio da una colonnetta di vetro. Due archi metallici, l'uno AA congiunto col conduttore G e l'altro *aa* posto in comunicazione col suolo mediante la catenella C, servono facilmente ad avere sopra G ora l'elettricità positiva ed ora quella negativa.

Infatti l'arco AA, disposto verticalmente, vien ad avere i pettini a poca distanza dal disco, da cui assorbendo l'elettrico si carica in più il globo G. Disponendo invece l'arco *aa* verticalmente assorbe colle punte dei suoi pettini l'elettrico eccitato sul disco e lo scarica per la catenella C nel suolo; mentre l'arco AA in posizione orizzontale ed i pettini a contatto coi cuscinetti si mette allo stato negativo unitamente ai cuscinetti medesimi Alla macchina elettrica a disco per le due elettricità si sono fatte alcune modificazioni come può vedersi negli *Annali di Fisica* ecc. più volte citati, t. XII, pag. 186; e t. XV, pag. 56.

1231. Colle macchine a cilindro ed a globo (§. 1222), come con quella a campana (§. 1223) si ha facilmente l'elettricità positiva dal conduttore munito di pettine, mentre quello dei cuscinetti è in comunicazione col suolo. All'inverso si ha l'elettricità negativa dal conduttore dei cuscinetti tenendolo isolato, e facendo comunicare col suolo quello del pettine Tenendo isolati i due conduttori dal suolo e mettendoli in comunicazione metallica fra loro, si avrà una circolazione continua dal disco al conduttore, ai cuscinetti e di nuovo al disco.

Del resto l'elettricità negativa può aversi direttamente dalla macchina a disco di solfo o di resina (§. 1220). Anzi interessa di far conoscere una macchina elettrica a due dischi, l'uno di solfo e l'altro di resina, la quale può servire con vantaggio per alcune particolari indagini (1). I due dischi sono sostenuti dal medesimo asse orizzontale e posti in movimento nell'egual modo della macchina ad un solo disco. Lo strofinatore del disco di vetro si congiunge mediante una verga metallica con quello di contro del disco di resina. I conduttori dei due dischi si fanno al bisogno comunicare fra loro mediante una verga metallica: in tal maniera, mettendo in azione la macchina, si ha una circolazione continua d'elettrico, il quale dal disco di vetro si getta per le punte sul rispettivo conduttore transitando da questo sull'altro conduttore, donde sfuggendo per le rispettive punte passa al disco di resina e da questo nei cuscinetti per riprendere il primi-

(1) Si veggano gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XIII, pag. 242

tivo corso. Che se i conduttori sono mantenuti disgiunti, l'uno dà l'elettricità positiva e l'altro quella negativa, mettendoli alternativamente in comunicazione col suolo. Nel primo caso si genera la corrente dalla quale si hanno, come vedremo, i fenomeni dinamici con l'elettrico sviluppato per mezzo dello stropicciamento

1232. Furono costruite macchine elettriche con istoffe di seta, di taffetà, di lana, di gota perca e d'altre materie consimili. Si riuniscono le estremità d'un pezzo di queste stoffe disteso su due subbi come la fune continua delle ruote a cingoli (§. 450), facendo ruotare uno dei subbi, gira anche l'altro e con essi la stoffa continua, che è stroffinata da un cuscinetto rivestito di pelle di gatto fisso da un lato, mentre all'opposto corrispondono le punte del pettine d' un conduttore isolato. Nella confricazione della pelle di gatto contro la stoffa, questa si elettrizza in difetto e con esso il conduttore, dal quale si ottiene l'elettricità negativa.

Si sono fabbricate altresì delle macchine, il cui disco è formato di carta assai grossa molto propria a svolgere l'elettricità (1). Ma la carta deperisce facilmente e le macchine non sono della durata da paragonarsi a quelle di vetro.

1233. Si è incidentemente fatto cenno dell'andamento del fluido elettrico, che si sviluppa dalla macchina in azione Il disco di vetro, per es , nello stropicciamento prende continuamente su di sè l'elettrico dei cuscinetti, i quali si spogliano in tal modo del loro fluido naturale e rimarrebbero elettrizzati in difetto e giungerebbero al punto di non poter fornire nuovo fluido al disco se fossero isolati Si vede quindi il bisogno di mettere i cuscinetti in comunicazione col suolo, onde poter riparare a le perdite che vanno facendo. Se il pavimento è di legno ed anche di mattoni, e la stanza ad un piano superiore del fabbricato; allora la poca conducibilità di quelle materie impedisce ai cuscinetti di attirare dalla terra nuovo fluido e fornirlo al disco per avere l'elettrizzazione più grande possibile dalla macchina In qualunque caso è bene di collocare un grosso filo di rame, il quale lungo il muro esterno della stanza si profondi nella parte umida del suolo ed anche in un pozzo, e metta capo nella stanza per attaccarvi la catenella metallica che comunica coi cuscinetti Nelle macchine a disco di solfo vale lo stesso; la perfetta

(1) Per la carta meglio atta alla costruzione di machine elettriche si possono consultare gli *Annali di fisica* ecc più volte citati, t. XXIII, pag. 185, t XXV, p 207, e t XXVI, pag 79.

comunicazione dei cuscinetti colla terra è diretta a disperdere il fluido di cui vanno continuamente spogliando il corpo stropicciato, e così metterli in grado di elettrizzare il conduttore al massimo possibile.

Il conduttore, una volta che l'elettrico sia condensato ad un certo punto, non può ricevere nuovo fluido, perchè colla stessa forza, che il disco tende a comunicarlo, il conduttore lo rigetta. Lo stesso avviene quando il corpo stropicciato è una materia resinosa. Vi ha dunque una carica massima per ogni macchina elettrica, che non si può mai oltrepassare per quanto si continui lo stropicciamento colla ruotazione.

1234. Allorquando si vuole elettrizzare un corpo bisogna metterlo in comunicazione col conduttore della macchina; ma se esso appoggia sul suolo, l'elettrico che riceve passa tosto nella terra e non si elettrizza. Per elettrizzare dunque un corpo è mestieri di segregarlo dal suolo mediante corpi coibenti, il che chiamasi *isolare*. Se l'aria che ci circonda avesse la proprietà di trasmettere l'elettrico, s'ignorerebbero gli effetti di questo fluido e la fisica non possederebbe uno dei suoi rami più ameni e più istruttivi.

Si è veduto altrove che un corpo viene isolato quando è sostenuto in mezzo all'aria con fili o cordoncini di seta (§ 1217) o con colonnette di vetro come i conduttori delle macchine elettriche. L'*isolatore* consiste d'ordinario in una colonnetta di vetro piantata sopra un basamento e portante superiormente un piano (fig. 263). Allo scopo di meglio conseguire l'isolamento si colloca sul piano una lastra ben asciutta di vetro.

In generale qualunque materia coibente serve ad isolare i corpi per metterli in istato di essere elettrizzati, ed una delle condizioni essenziali si è che gl'isolatori siano ben asciutti, perchè un velo anche sottilissimo d'umidità basta a dissipare l'elettrico. L'umido si deposita facilmente sul vetro per la grande adesione ch'esso ha con l'acqua (§. 88), ed allo scopo d'impedire tale inconveniente bisogna coprirne la superficie con qualche vernice resinosa.

1235. Un corpo isolato nell'aria e in comunicazione col conduttore della macchina prende dunque lo stato elettrico; e si chiama *caricare* od *elettrizzare* un corpo quando, dopo averlo isolato, si accumuli su di esso il fluido estraendolo dal conduttore della macchina, od eccitandolo in altro modo qualunque, oppure gli si levi del suo elettrico naturale trasmettendolo al conduttore medesimo od a qualunque altro corpo allo stato negativo. Nel primo caso *si*

carica o si elettrizza il *corpo positivamente*, nel secondo *negativamente*. Si chiama poi *scaricare un corpo* o *metterlo allo stato naturale* il toglergli il fluido, di cui è in eccesso, o il dargli quella porzione di cui è in difetto. La scarica si fa ponendo il corpo in comunicazione colla terra mediante materie deferenti, essendo la terra il serbatoio universale dell'elettrico fluido. Le scintille si estraggono mediante un cilindro d'ottone terminato in emisfero, che prende il nome particolare di *eccitatore*. Si presenta spesso il bisogno nelle scariche elettriche di impedire che il torrente transiti per lo sperimentatore: a tal fine si hanno gli *scaricatori* muniti di manico coibente A, B utili in parecchi casi (fig. 264). Vi ha inoltre lo *scaricatore universale* rappresentato ne la figura 265. Il corpo è collocato sul piano coibente P ed a contatto cogli estremi delle due verghette d'ottone. Una di queste comunica col suolo, e l'altra si congiunge mediante lo scaricatore a manico colla *sorgente elettrica*.

Per elettrizzare una persona, che è abbastanza dotata di conducibilità, bisogna pure isolarla e metterla in comunicazione col conduttore della machina o con qualsiasi altra sorgente d'elettrico mediante una catenella metallica. Essa in tale situazione mostra tutti i fenomeni del conduttore e si può quindi coll'eccitatore estrarne la scintilla. A tale effetto la persona sale sul o *sgabello isolatore*, che consiste in una tavola circolare o d'altra forma, vern ciata e coi piedi di vetro o di solfo. Si adoprano eziandio come isolatori *stiacciate di resina* o *tronchi conici di solfo*, su cui si mette la persona da essere elettrizzata. Siccome la resina è cedevole al peso della persona che sorregge, così alle stiacciate si dà maggior consistenza mescolando colla resina della cera in parti eguali. Queste stiacciate, quando sono di recente fuse e gettate, non riescono i migliori isolatori, ma col tempo acquistano tale proprietà per la ragione che la cera è meno coibente allo stato liquido o molle che ben solidificata.

1236. Una persona, collocata sopra lo sgabello isolatore, si elettrizza non solo mettendosi in comunicazione col conduttore della machina, ma anche direttamente collo strofinio. A tal fine basta con una pelle di gatto di leggermente battere strisciando sulla spalla posta a nudo. L'individuo, che abbia fatto qualche moto ed agitato le braccia, salendo tosto sullo sgabello isolatore può dare segni elettrici, che riescono soltanto sensibili agli elettroscopi i più squisiti, di cui quanto prima parleremo.

I gatti ed altri animali sono coperti di peli e posseggono quindi una materia molto propria all'eccitamento dell'elettricità senza biso-

gno d'isolarli. Stropicciando colla mano asciutta il dorso di questi animali, si ottiene dall'estremità dell'orecchio una serie di scintille o di piccole scariche. Il fenomeno si ha anche se, durante lo strofinamento del dorso con una mano, si applica l'altra alla parte superiore del piede del gatto in modo da stendere la zampa ed a mettere il pollice a contatto coll'osso dell'altra gamba nel luogo ove si congiunge col piede. Somiglianti fenomeni furono esaminati nei gatti dal professore Vassalli ripetendo anche altre sperienze di Alessandro Tonso (1).

1237. L'aria colla sua coibenza ritiene i corpi allo stato elettrico, ed impedisce a questo fluido di obbedire alla sua forza espansiva e di dissipare l'elettricità dei corpi. L'elettricità dunque esercita uno sforzo per mettersi in equilibrio, ed è appunto un tale sforzo che chiamasi *tensione*. Dicesi poi *carica* la quantità d'elettrico, di cui un corpo è fornito in più o in meno del suo stato naturale. L'attitudine a ricevere una maggiore o minor carica prende il nome di *capacità* del corpo per l'elettrico.

La *tensione* può essere *positiva* o *negativa*: colla prima l'elettrico fa sforzo per isfuggire dal corpo su cui è accumulato, colla seconda il fluido degli oggetti circostanti e della terra tende a portarsi sul corpo dove trovasi in meno. La tensione positiva è tanto più grande quanto più è la quantità effettiva d'elettrico accumulato sul conduttore, mentre la negativa cresce al crescere la deficienza d'elettrico nel corpo relativamente al suo stato naturale. A somiglianza della tensione si ha la *carica positiva* e *negativa* e quindi la *capacità positiva* e *negativa*.

1238. Avendosi un corpo deferente in istato elettrico, che si pone in comunicazione con altro corpo isolato, il fluido si equilibra sopra ambidue e il secondo si mette pure nello stato elettrico a spese del primo, nel quale viene con ciò diminuita la tensione. Siccome il passaggio dall'uno all'altro corpo cessa allorquando vi ha eguaglianza ed equilibrio nelle tensioni d'ambidue, così lo stato dei due corpi in tal caso chiamasi *equilibrio relativo*, mentre succede l'*equilibrio assoluto* o lo *stato naturale*, quando il corpo elettrizzato si fa comunicare col globo terracqueo.

Crescendo la tensione al crescere la quantità d'elettrico accumulato sopra un corpo, è chiaro che, con continue addizioni di

(1) *Memorie della R. Accademia di Torino*, del 1789, dove si dà la relazione delle sperienze sopra l'elettricità dei topi e dei gatti domestici.

fluido, potrà essere portata al punto di vincere la coibenza dell'ambiente. In questo caso si disperderà per l'aria e sugli oggetti circonvicini, e il conduttore non riceverà più elettrico oltre un tal punto. Avviene all'inverso nella tensione negativa, potendosi il conduttore mettere in difetto d'elettrico sino al punto in cui per questa deficienza, crescendosi in lui l'attrazione, non si possa per toglierglì del suo l'elettrico naturale. Appunto per questo la carica del conduttore colla macchina elettrica ha un limite che non si può oltrepassare (§ 1235).

1259. In ogni conduttore elettrizzato vi ha dunque *carica*, *capacità* e *tensione*. La stessa carica, prodotta dall'eguale quantità di elettrico in eccesso o in difetto sopra due conduttori, può generare delle differenti tensioni secondo la loro capacità. Più è grande la capacità, minore è la tensione per la stessa carica. In un conduttore di piccole dimensioni, la medesima carica produce tensione maggiore di quella che risulta per uno di grande ampiezza nelle eguali circostanze. Due corpi quindi possono essere egualmente caricati e possedere differente tensione, oppure spiegare eguale tensione ed avere differente carica. Anzi nei conduttori d'eguale capacità le cariche seguono il rapporto delle tensioni, e in quelli posti all'eguale tensione le cariche sono in ragione delle capacità.

Chiamiamo E, C, T come pure e, c, t le rispettive cariche di elettrico, le capacità e le tensioni di due conduttori, mentre x, C, t sono le denominazioni d'un terzo conduttore che ha egual capacità del primo ed egual tensione del secondo. A parità di circostanze, confrontando le cariche del primo e del terzo, che hanno egual capacità, si avrà $E : x :: T : t$. Parimenti, nel confronto del secondo col terzo all'eguale tensione, risulterà $x : e :: C : c$. Moltiplicando termine per termine le due proporzioni precedenti, si ottiene la composta $Ex : ex :: CT : ct$, ossia $E : e :: CT : ct$, vale a dire *le cariche sono in ragione composta diretta delle capacità e delle tensioni*. Volendo passare alla valutazione, bisogna adottare le unità di misura, le quali siano e per la carica, c per la capacità e t per la tensione. Dall'ultima proporzione si ricava dunque la relazione $E = CT$, ossia *la carica eguaglia il prodotto delle unità di capacità per quelle di tensione, che esprime altrettante unità di carica*.

Gli effetti d'un torrente elettrico, che si mette in equilibrio, sono proporzionali, come è chiaro, alla quantità d'elettrico o alla carica, e quindi in ragione delle capacità e della tensione. Se nella propor-

zione precedente è $E = e$, sarà eziandio $CT = ct$, da cui si deduce $T : t :: c : C$, cioè *a cariche eguali le tensioni seguono la ragione inversa delle capacità*. Da ciò si apprende che gli effetti d'una carica non si devono giudicare dalla sola tensione, e potrebbe darsi benissimo il caso che un conduttore elettrizzato, nel mettersi allo stato naturale, producesse un grand effetto quantunque manifestasse poca tensione in causa della sua grande capacità. Queste relazioni fra la carica, la capacità e la tensione ci saranno utili in seguito per comprendere gli effetti di alcuni importanti apparati elettrici. Appunto per questa ragione Volta ha suggerito di unire, al conduttore principale della macchina elettrica, dei conduttori secondari per aumentarne la capacità e quindi la carica (§. 1220). Il fisico italiano fu il primo a stabilire, con accurate esperienze ed osservazioni, che a superficie eguale la forma del conduttore produce una variazione nelle capacità, e che di due cilindri della stessa superficie, il più lungo riceve per l'eguale tensione una carica maggiore dell'altro. Combinando per es., 16 sottili verghe cilindriche metalliche, ciascuna delle quali abbia la lunghezza di circa 300 metri, si darebbe, secondo Volta, al conduttore della macchina elettrica tale capacità che le scintille sarebbero capaci di fulminare e di uccidere i più grossi animali (1). I fili isolati dei telegrafi possono servire a verificare la proposizione di Volta. Essi hanno la lunghezza di alcune centinaia di chilometri, e caricati sarebbero capaci di produrre degli effetti potentissimi, essendosi già provato che, elettrizzati per l'influenza dell'atmosfera, danno delle forti scosse.

Quando un conduttore elettrizzato si mette in comunicazione con un altro isolato 50, 100 volte di più capace, la tensione nell'equilibrio relativo (§. 1238), diventerà la cinquantesima, la centesima parte di prima. Il conduttore elettrizzato dunque, che si fa comunicare col nostro globo di capacità infinitamente più grande di quella del conduttore medesimo, diminuisce infinitamente la tensione nell'equilibrio assoluto, ed è per questa ragione che si è chiamata la nostra terra il *serbatoio universale* dell'elettrico (§. 1226).

1240. Abbiamo veduto che un conduttore elettrizzato esercita attraverso l'aria ed a certa distanza la sua azione attraendo corpi poco pesanti ed emettendo una scarica sotto forma di scintille (§. 1224). Ora aggiungiamo che quest'azione succede per lo squilibrio locale dell'elettrico naturale alla massa d'aria interposta, il quale si estende

(1) *Collezione delle opere di Volta*, t. I, parte I[a], pag. 212.

da molecola a molecola, da strato a strato sino al corpo attratto, e su cui balena la scintilla. Questo stato, che prende l'aria interposta, si verifica negli altri corpi coibenti e nei conduttori in modo particolare alla loro natura, e si chiama *attuazione elettrica* od *elettricità attuata*, riserbando i vocaboli *induzione* ed *indotta* pei fenomeni dell'elettricità dinamica allo scopo di maggior proprietà ed esattezza del linguaggio della scienza. Ritorneremo in seguito sull'attuazione, ora ammettiamola come un fatto, che ci fa strada a proseguire lo studio dei fenomeni in ordine a quegli esposti.

Per l'attuazione dunque prodotta dal conduttore elettrizzato, per es. in più, il primo strato d'aria si mette dalla parte del conduttore stesso allo stato negativo e dall'opposto a quello positivo. Lo strato seguente prova l'azione dello squilibrio locale del precedente e si mette pur esso in istato elettrico. In tal maniera va comunicandosi l'attuazione pei successivi strati all'estremità opposta, donde pei corpi intermedii giunge sino al suolo, ed è per essa che succede l'attrazione del corpo deferente a distanza, sul quale balena anche la scintilla quando per l'attuazione si metta in istato elettrico opposto tale da determinare la scarica del conduttore della macchina. Avviene lo stesso se il conduttore della macchina è elettrizzato negativamente, propagandosi in tal caso a distanza per l'aria l'attuazione negativa sino in presenza del corpo attratto o dal quale balena la scintilla. La massa d'aria all'intorno del conduttore elettrizzato è stata chiamata anche *atmosfera elettrica*.

1241. Dimostrando che si danno due stati elettrici opposti si è veduto in quali casi due corpi elettrizzati posti in presenza si repellono e si attraggono (§ 1225). Ora, servendoci del linguaggio secondo il sistema adottato (§ 1226), possiamo dire in generale che *corpi dotati di diverso stato elettrico mutuamente si avvicinano (attraggono), e quelli che lo sono omologamente si allontanano (repellono)*. Questa legge generale dell'elettricità statica si spiega secondo il sistema d'un sol fluido ammettendo che l'elettrico è costituito di molecole, le quali mutuamente si repellono o tendono ad espandersi in ispazio maggiore per mettersi in equilibrio; e che la forza repulsiva, come in qualunque fluido elastico, cresce coll'addensamento e diminuisce colla rarefazione (1).

(1) La rigorosa dimostrazione matematica di questa legge, come di altre dell'elettricità secondo il sistema di un sol fluido, può vedersi nell'opera di Epino *Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi*, pubblicata nel 1760 e ridotta da Hauy

Prendiamo primieramente due corpi P, p caricati positivamente (fig 266), i quali si sono circondati di frecce indicanti colla loro punta l'attuazione elettrica positiva prodotta nell'aria che si trova all'intorno dei due corpi Ora è chiaro che nello spazio interposto l'elettrico, rimosso per attuazione, sarà più addensato che negli altri spazi circostanti e perciò ripulsione nell'elettrico e per conseguenza nell'aria interposta e nei corpi in essa sommersi Parimenti se i due corpi N, n sono elettrizzati negativamente (fig 267), l'elettrico, rimosso per attuazione nell'aria, riuscirà meno rarefatto nello spazio interposto che in quelli esteriori, vi sarà quindi per l'eguale ragione ripulsione ed allontanamento dei due corpi N, n l'uno dall'altro Che se uno dei corpi P è elettrizzato in più e l'altro N in meno fig 268, l'elettrico riuscirà più diradato nello spazio interposto che in quelli esteriori, e quindi tendendo a mettersi in equilibrio trascinerà l'aria e con essa i corpi verso lo spazio interposto, e produrrà in questi un avvicinamento Questi fenomeni avvengono anche nell'aria rarefatta in questi casi bisogna operare a tensioni debolissime

Da qui si comprende come un globetto di midollo di sambuco, sospeso all'estremità d'un filo di lino che si tiene nella mano, è continuamente attratto dal conduttore elettrizzato della macchina, perchè, essendo il filo deferente e in comunicazione col suolo, si mette in istato elettrico opposto a quello prodotto per attuazione nell'aria, e continua ad esserlo quando tocca il conduttore Che se il globetto è appeso ad un filo di seta, tosto che tocca il conduttore è repulso, perchè esso conserva l'elettricità omologa Che se il globetto del filo di lino si sospende accanto al conduttore in comunicazione con esso ed isolato dal suolo, allora si elettrizza omologamente ed è repulso Per l'egual ragione divergono i fili di lino d'un fiocco appeso al conduttore della macchina

Queste leggi dell'elettricità statica, in tal modo dichiarate secondo il sistema d'un sol fluido, vedremo come mirabilmente s'accordano colle leggi dell'elettricità dinamica ne' fenomeni di attrazione e ri

elementare col libro *Exposition raisonnée de la théorie de l'électricité et du magnétisme* Parigi 1787 di cui Laplace Cousin e Legendre fecero un rapporto molto favorevole all'Accademia di Francia Alla pag 40 del libro di Hauy si dimostra appunto, secondo Epino, la nominata legge ammettendo quattro forze, due di attrazione reciproca fra la materia di ciascun corpo e il suo fluido elettrico, l'altra di ripulsione fra le molecole dell'elettrico, e la quarta pure ripulsiva fra le particelle materiali prive d'elettrico

pulsione, o di avvicinamento ed allontanamento di conduttori percorsi da correnti dirette nello stesso o in contrario verso.

1242. Al precedente teorema delle attrazioni e ripulsioni elettriche si riferiscono alcuni fenomeni ed esperimenti, che si sogliono istituire nella scuola. Il *molinello elettrico* consiste in un filo metallico configurato alla foggia di Z o in due fili della stessa forma incrociati ad angolo retto (fig. 269). I fili sono acuminati alle loro estremità e si connettono nel loro mezzo con un cappelletto d'acciaio munito al centro di una cavità, per la quale stanno orizzontalmente in bilico sulla verga acuminata, che si colloca direttamente sul conduttore o si mette con esso in comunicazione. Ruotando il disco della macchina, si elettrizza la verghetta, indi i fili del bilanciere, che gira nella direzione indicata dalle frecce.

Le punte trasmettono in silenzio l'elettrico e lo comunicano all'aria circostante. Si hanno in tal modo dalla parte delle punte due corpi omologamente elettrizzati, per cui succede fra essi l'allontanamento e quindi la ruotazione dell'apparato. Se il bilanciere è elettrizzato negativamente, l'aria circostante alle punte si elettrizza del pari negativamente, e si ha ancora l'allontanamento secondo i principii esposti nel teorema precedente. Collocando l'apparato sotto una campana di vetro, nella quale si fa il vuoto colla macchina pneumatica, non esiste più l'aria per essere omologamente elettrizzata, e non ha più luogo la ruotazione come mostra l'esperienza. Non ha luogo del pari la ruotazione in un liquido buon conduttore, mentre succede in uno coibente, come per es. nell'essenza di trementina.

Si può sostituire all'aria un corpo solido ed ottenere la *ruotazione elettrica* secondo i principii dichiarati. Al conduttore della macchina si sospenda un anello di filo d'ottone del diametro di qualche centimetro, che porti al di sotto mediante cilindretti di vetro una lastra circolare di metallo di diametro un poco più grande. La lastra è parallela all'anello ed alla distanza che non vi passi una palla cava di vetro sottile, collocata sopra la lastra medesima a contatto dell'anello. Girando il disco della macchina, si elettrizza l'anello e la palla di vetro nel punto di combaciamento. Tosto che i due corpi sono elettrizzati, la palla è repulsa ed attratta nel punto seguente, che è elettrizzato e repulso alla sua volta, e così viene a contatto un nuovo punto dove succede nuovamente la ripulsione. Succedendosi in tal modo l'elettrizzazione di nuovi punti e la ripulsione all'attrazione, la palla concepisce un moto di rotazione intorno dell'anello, che continua indefinitamente, scaricandosi i punti elettrizzati al contatto

colla lastra metallica in comunicazione col suolo mediante una catenella metallica. Se l'esperimento vien fatto nell'oscurità, la palla apparisce luminosa nei punti, che successivamente toccano l'anello.

1243. Il fenomeno così detto del *ragno elettrico* dipende dallo stesso principio. È un pezzetto di sovero intagliato in figura di ragno ed appeso ad un filo di seta. Esso è posto in presenza del conduttore della macchina elettrica (fig. 270), mentre alla stessa altezza è collocata dal lato opposto una palla di ottone in comunicazione col suolo. Elettrizzando il conduttore della macchina, questo attrae il ragno e poscia lo respinge essendo nello stesso tempo attratto dalla palla di ottone, colla quale viene a combaciamento e si scarica dell'elettrico ricevuto, mettendosi così in istato d'essere di nuovo attratto dal conduttore e quindi respinto e scaricato alla sua volta. In tal modo il sovero concepisce un movimento somigliante a quello del ragno nel fabbricare la sua tela.

1244. Alla medesima categoria appartiene lo *scampanio elettrico*, il quale ha avuto un' utile applicazione congiunto colle spranghe del parafulmine, dove col suono dà segni manifesti dell'elettrico che attraessero dalle nubi sovrastanti. La costruzione di quest'apparato si comprende gettando l'occhio sulla figura 271. Il campanello di mezzo è appeso a filo di seta e comunica col suolo, mentre i due estremi sono sostenuti da fili metallici. Due piccoli battagli pendono isolati fra i campanelli, e sono attratti e repulsi tosto che si elettrizzano i due estremi. In tal modo si genera un tintinnio, che dura sinchè vi ha elettrico. Si può disporre anche l'apparato sopra un piede coibente e munirlo d' una verghetta acuminata, che assorbisca l'elettrico del conduttore della macchina.

1245. L'esperimento della *gragnuola elettrica* si eseguisce nella scuola coll'apparato della fig. 272, fatto di due piatti metallici, il superiore dei quali si mette in comunicazione col conduttore della macchina e l'altro col suolo. Piccole palle di midollo di sambuco riposano sul piatto inferiore, le quali sono attratte da quello superiore elettrizzato e poscia respinte sul sottoposto. Collocando fra i due piatti figurine della stessa materia vestite di seta, si hanno gli stessi movimenti, che per l'effetto si sono chiamati la *danza elettrica*. È in una maniera somigliante che Volta spiega l'ingrossamento dei noccioli della grandine saltellanti fra due nubi in istato elettrico opposto.

Asciugando un bicchiere comune e riscaldandolo ben bene al fuoco, si elettrizzi poscia internamente passandolo sopra una punta

di metallo piantata sul conduttore. Coprendo col bicchiere così preparato i globetti di sambuco collocati sopra un piano in comunicazione col suolo, ne nascono moti somiglianti (fig. 273). Si ha egual fenomeno da una persona, che, salita sullo sgabello isolatore, metta una mano sul conduttore elettrizzato e distenda il palmo dell'altra parallelamente ad un piatto in comunicazione col suolo, su cui riposano i globetti di sambuco, oppure della crusca ed altri simili corpi poco pesanti.

1246. Un fenomeno dipendente dalle stesse dottrine è la così detta *artiglieria elettrica*. Un bilanciere di metallo terminato in emisferi sta in bilico sopra un perno verticale isolato (fig. 274). All'intorno di esso sono disposte all'eguale altezza delle piccole colonnette di metallo terminate pure in emisfero ed in comunicazione col suolo. Il bilanciere elettrizzato è attratto dalla prima colonnetta, girando sul perno. In questo movimento giunge di contro alla stessa colonnetta su cui balena la scintilla. È attratto egualmente dalla seconda colonnetta, per cui si accelera il suo moto e lascia scoccare altra scintilla. Continua in tal modo ad essere attratto dalle colonnette seguenti, ed accelerare il suo movimento, ed a balenare scintille con scoppii somiglianti a scariche successive di pezzi d'artiglieria. Nel moto un poco celere le scintille lasciano nell'occhio l'impressione di un cerchio luminoso (§. 895), che somiglia all'aureola delle imagini dei santi; ed è per quest'apparenza che il fenomeno è chiamato anche *beatitudine elettrica*.

1247. I *fiori elettrici*, descritti da Lichtenberg in una lettera a Volta e perciò chiamati anche le *figure di Lichtenberg*, sono una conseguenza del teorema su annunziato (§. 1241). Si abbia una stiacciata di resina ben appianata, sulla quale si fanno delle scariche di elettricità positiva o negativa mediante una verghetta rotondata ed acuminata all'estremità. Si sparga sulla medesima della pece, del solfo, del minio, dello zucchero ed altre materie ben polverizzate poste in un sacchettino di velo: queste polveri formano una specie di nube, cadono sulla stiacciata, e sono attratte dai punti elettrizzati, e vi dipingono delle figure ramificate se l'elettricità è positiva, e delle figure rotonde e concentriche se l'elettricità è negativa. È a queste figure che si dà il nome di *fiori elettrici*. Se la stiacciata si elettrizzi contemporaneamente col fluido positivo e negativo, e si facciano cadere su di essa le polveri di due materie che nel passare pei fori del sacchettino si stropicciano fra loro ed acquistano elettricità opposte: l'una è attratta dai punti elettrizzati positivamente e l'altra da quelli

negativi. Si ha un'idea di questi fiori elettrici osservando la fig. 275.

Adoperando la polvere di solfo mista col minio pure polverizzato, le particelle della prima materia si depongono sui punti positivi della stiacciata e quelle della seconda sui negativi e formano dei fiori elettrici gialli e rossi. Ciò che è degno di essere osservato si è che le particelle di solfo sono disposte sotto forma di piccoli fiocchi irti sulla stiacciata; mentre quelli di minio si trovano coricate ed adagiate sulla medesima.

1248. Gli *elettroscopii* e gli *elettrometri* sono apparati che indicano e misurano la tensione e la specie di elettricità, e dipendono pure dal teorema annunziato. Il più semplice di essi è l'*elettroscopio a pendolo* o il *pendolo elettrico*, il quale consiste in una pallottolina di sambuco appesa ad un filo di lino o di seta sostenuta da un piede conduttore od isolatore (fig. 276). Adoperando l'apparecchio non isolato si riconosce dall'attrazione se il corpo è dotato d'elettricità. Alla determinazione dello stato elettrico serve l'apparecchio isolato, che previamente si carica di elettricità nota. se in tale stato il corpo attrae il pendolino, allora esso è fornito d'elettricità opposta, se lo repelle, di elettricità omologa a quella del pendolino medesimo.

Molto proprio per queste indagini è l'*elettroscopio ad ago*, che consta d'un filo metallico terminato da globetti della stessa materia e posto in bilico sopra una punta sostenuta da un piede conduttore od isolatore (fig. 277). Si opera egualmente come nel pendolo accostando il corpo all'estremità dell'ago, e facendo uso dell'apparecchio isolato quando si tratta di scoprire la specie d'elettricità. Vi ha altresì l'*elettroscopio a pila*, col quale si scopre tosto se l'elettricità è positiva o negativa, e che faremo conoscere nella sezione seguente.

1249. Per riconoscere la carica delle machine elettriche serve in alcuni casi lo *spinterometro*, col quale si determina la distanza cui balena la scintilla. Esso si compone di un bastoncino di vetro massiccio AB ripiegato a squadra (fig. 278), fornito all'estremità di viere metalliche, nel centro delle quali entrano a sfregamento due cilindri di metallo C, D. Il cilindro C è posto in comunicazione col conduttore della machina, e l'altro D si fa scorrere e si pone alla distanza massima da C, cui balena la scintilla. Questa distanza è misurata da una scala in centimetri e in millimetri applicata accanto al cilindro D.

Per regolare la carica del conduttore della machina elettrica serve molto meglio l'*elettrometro a quadrante* o *quadrante elettrometro* imaginato da Henley e formato del pendolino elettrico mobile nel centro d'un semicerchio graduato (fig. 279). Si pianta comunemente la ver-

ghetta dello strumento sul conduttore della machina, e il pendolino elettrizzandosi omologamente alla verghetta medesima, vien da questa respinto, e dai gradi di deviazione, segnati sul semicerchio, si desume la tensione della carica del conduttore. Per ragioni che apprenderemo in seguito è meglio applicare l'elettrometro alla testa del conduttore medesimo sulla direzione dell'asse. Alle volte lo strumento riposa sopra un piede isolatore con apposito conduttore per servirsene in indagini particolari, come rappresenta la figura 280.

1250. Allorquando si tratta di deboli tensioni bisogna ricorrere a strumenti più sensibili del precedente. L'*elettrometro a palline* di Cavallo consiste in una boccetta quadrangolare (fig. 281) con due pendolini, i cui globetti sono fra loro quasi a contatto ed i fili metallici in direzione verticale e fra loro paralleli. I punti di sospensione fanno parte d'una verghetta metallica, che è assicurata con mastice al collo della boccetta e termina esteriormente in un globetto d'ottone, che chiamasi il *cappello* dell'elettrometro. Il fondo è mobile e di metallo.

Avvicinando al cappello un corpo elettrizzato, i due pendoli divergono e tanto più quanto più è grande la tensione. La divergenza è misurata da un arco graduato, e dirimpetto alle palline sono incollate sulle pareti due listelle di stagnuola o si erigono dal fondo due colonnette contro le quali, in un'eccessiva divergenza, si scarica l'elettrico per impedire che si comunichi alle pareti di vetro dello strumento ed alteri i risultati dell'esperienza. Per avere non solo la misura ma la specie d'elettricità, bisogna caricarne l'elettrometro d'una nota ed avvicinare gradatamente il corpo elettrizzato, il quale, se aumenta la divergenza dei pendolini, ha la stessa specie di elettricità dell'elettrometro, se la diminuisce è dotato della contraria. Gli elettrometri di questa specie non servono per tensioni molto forti, anzi bisogna evitarle per non elettrizzare il mastice o la ceralacca che involge la verghetta del cappello.

I due pendolini dell'*elettrometro a pagliuzze* di Volta sono fatti di due fuscellini di paglia ben secchi (fig. 282). Questo strumento riesce più sensibile del precedente ed è altresì dotato di un pregio, di cui or ora parleremo. Vi ha un terzo elettrometro, i cui pendolini consistono in listelle di esilissime foglie d'oro, avendosi con ciò l'*elettrometro a fogliette* di Bennet. Esso è ancor più sensibile di quello di Volta.

1251. Tutti gli strumenti descritti si custodiscono in recipienti di vetro per impedire che l'agitazione dell'aria imprima dei movimenti

ai pendolini indipendentemente dalla forza elettrica, e sono in uso presso tutti i gabinetti di fisica per le osservazioni di simil genere. Senza alterare la loro essenza, parecchi fisici, principalmente per indagini particolari, fecero ai medesimi alcune modificazioni ed aggiunte, alcune delle quali si possono vedere negli *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. v, pag. 236, t. xii, pag. 84.

Si osservi che in ognuno dei suddescritti elettroscopii ed elettrometri la gravità tende a ricondurre i pendolini nella direzione verticale ed aumenta a misura che cresce la loro divergenza (§ 384), sicchè la tensione non riesce proporzionale al grado di divergenza indicato dal quadrante. È appunto per ciò che, volendo misurare la forza elettrica, bisogna rintracciare la scala corrispondente ai gradi del quadrante dell'elettrometro; il che si ottiene coi mezzi, che andiamo dichiarando. Intanto noteremo che l'elettrometro di Volta è dotato sino ad un certo punto della proprietà di possedere nei suoi gradi la proporzionalità coi gradi di forza elettrica (1); su di che ci piace riportare le parole stesse di Arago. *Alla fine Volta tolse via il sambuco, sostituendo delle pagliuzze secche ai fili metallici. Cotal cambiamento parrebbe senza importanza, se non si dicesse che il novello elettrometro possiede solo la preziosa e al tutto inaspettata proprietà d'essere, fra 0 e 30 gradi di allontanamento angolare delle due pagliuzze, in esatta proporzione colle tensioni elettriche* (2).

La sensibilità degli elettrometri descritti dipende dalla tenuità e mobilità e dalla distanza cui sono posti i pendolini. Le pagliuzze o le foglietto nei due ultimi elettrometri non siano fra loro a combaciamento, per togliere l'influenza dell'adesione; ma abbiano un piccolo intervallo: se questo è di 1,5 in 2 millimetri e si esplorino delle tenuissime elettricità che produrrebbero la divergenza di poco più d'un millimetro, lo strumento riuscirebbe insensibile. I pendolini devono perciò trovarsi alla minima distanza possibile senza toccarsi onde diano segni anche di tenuissime dosi di elettrico.

Il *micro-elettrometro* è formato d'una foglietta d'oro, che pende nel mezzo d'una cassa cubica di vetro e che, essendo carica d'elettrico, è attratta a distanza dal globetto d'una verga orizzontale. Si può questa accostare più o meno alla foglietta per ottenere la massima distanza, cui succede l'attrazione, la quale varia al variare la tensione

(1) *Collezione delle opere di Volta*, t. I, parte 2ª, pag. 7 e seguenti.

(2) *Elogio storico del Volta* scritto da Arago per l'Accademia delle scienze di Francia e riportato nel giornale l'*Indicatore* 1835, t. II, della serie 4ª, pag. 19.

elettrica. La distanza è determinata da un quadrante fornito di vite micrometrica (§. 143), con cui se ne valutano le più piccole frazioni Siccome questa distanza si ritiene, entro certi limiti, proporzionale alla tensione, così in ogni caso si ha il valore di quest'ultima espresso con la maggiore esattezza

1252. L'ago dell'elettroscopio (§. 1248) si è appeso ed obbligato ad un filo, il quale per la forza di torcimento tende a ricondurlo in una posizione fissa, quando ne sia deviato, essendosi così trasformato da Coulomb quello strumento in vero elettrometro chiamato *bilancia elettrica*. L'esperienza e il calcolo hanno dimostrato che la forza di torcimento d'un filo fisso ad un'estremità è proporzionale, entro certi limiti, all'angolo di torsione; talchè, se una forza *f* è capace di tener torto il filo per un rivolgimento misurato dall'angolo di 10°, per torcerlo di 20° è mestieri impiegare la forza 2*f* (1).

La bilancia elettrica ha per custodia una capacità di vetro di forma conica, cilindrica o cubica, di dimensioni differenti secondo la grandezza, che si vuol dare ai gradi della scala Il coperchio di questa capacità è fornito nel suo mezzo d'un foro, da cui s'innalza un tubo di vetro di 20 in 30 centimetri d'altezza (fig. 283) e da 2 in 4 di diametro; ed inoltre d'un foro laterale per dove s'introduca il corpo elettrizzato. Alla sommità del tubo è assicurato un disco d'ottone, nel cui centro entra a sfregamento, e può girare una verghetta cilindrica dello stesso metallo. Questa è congiunta superiormente con una lancetta od un indice, il quale scorre sul disco e segna sull'orlo graduato l'angolo di rivolgimento della verghetta medesima. All'estremità inferiore sostiene con un congegno a morsa un sottile filo di argento o d'altra materia, cui sta appeso il grave che tiene teso il filo medesimo, e che porta trasversalmente in posizione orizzontale un'asticciuola formata d'un filo di seta o di vetro coperto di gommalacca. Ad un'estremità dell'asticciuola è attaccato un dischetto di carta dorata o un globettino di midollo di sambuco distante almeno 6 centimetri dalle pareti di vetro dalla custodia, l'altro braccio ha abbastanza peso per mantenere orizzontale l'asticciuola. Al foro laterale è fisso verticalmente con un tappo un filo metallico, che termina inferiormente in globetto alla stessa altezza dell'asticciuola, e coll'estremità superiore, terminata pure in globetto, sorge fuori del coperchio

(1) Si vegga la Memoria del prof Mainardi su tale argomento, che fa parte di quelle del t. xx della *Società italiana delle scienze* e rammentata negli *Annali di fisica* ecc., t. vii, pag. 90

In alcune delicate sperienze s'introduce invece pel foro un filo di vetro o di seta coperto di ceralacca, che porta all'estremità un dischetto di carta dorata eguale al precedente, il quale si carica dell'elettricità del corpo, di cui si vuole esplorare la tensione. Importa che l'aria nella capacità della campana sia ben asciutta, onde per essa non si disperda l'elettrico. A tal fine si colloca in essa una cassula contenente del cloruro di calce o dell'acido solforico concentrato, le quali materie assorbono facilmente l'umidità, che può essere mescolata coll'aria.

Ecco in qual maniera si opera coll'apparecchio descritto. Si elettrizza il globetto o il dischetto laterale, il quale comunica parte del suo elettrico a quello della leva mobile appesa al filo, quando non sia previamente elettrizzato. Trovandosi i due corpi dotati di elettricità omologa, il fisso respinge quello mobile, il filo si torce ed oppone alla forza elettrica l'elasticità che si sviluppa nel torcimento. Aumentando quest'ultima coll'aumentare l'angolo di torsione, i due corpi si mettono alla distanza in cui le forze si fanno equilibrio. L'angolo di rotazione è misurato da una zona circolare di carta divisa in gradi ed applicata sulla parete di vetro della custodia della bilancia, il quale angolo dà il valore della forza di torcimento e quindi quello della forza elettrica cui è eguale. Volendo variare la distanza dei due dischi elettrizzati per indagare qual rapporto prenda la forza elettrica, si fa girare la verghetta che sorge dalla sommità del tubo con cui si aumenta o si diminuisce il torcimento del filo del numero di gradi indicato dall'indice scorrevole sul disco.

1253. La forza elettrica segue la medesima legge dell'attrazione universale, vale a dire l'*inversa del quadrato della distanza*. Questa legge ha servito di fondamento per calcolare l'equilibrio dell'elettrico sui corpi conduttori, ed è stata dimostrata da Coulomb con delicate sperienze istituite per mezzo della bilancia elettrica.

Egli trovò che, operando nel modo descritto, l'estremità dell'asticciuola descriveva dopo il contatto l'angolo di 36°. Fece girare il filo di sospensione in verso contrario alla ripulsione avvenuta e di tanto da ridurre la distanza a 18°. Per ottenere questa distanza dovette farne descrivere all'indice 126°, che erano diretti a torcere maggiormente il filo. Nel primo caso dunque la forza di torcimento aveva per misura 36° e la forza elettrica esercitava la sua azione alla distanza pure di 36°. La forza di torcimento nel secondo caso divenne 126°+36°—18° ossia 144°, e la distanza restò soltanto 18°. Ora le forze di torsione eguagliano rispettivamente quelle elettriche, che diremo *f*, F, e sono

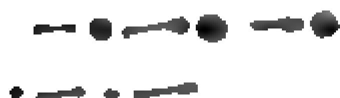
misurate dai gradi di torcimento 36 e 144, per cui si avrà $f \,.\, F :: 36 : 144$ ossia $f : F :: 1 \; 4$. Ma le distanze d, D corrispondenti a quelle forze stanno come $36 : 18$ cioè $d \,.\, D :\,.\, 2 \; 1$ e per conseguenza $d^2 \,.\, D^2 \,.: 4 : 1$; dunque sarà anche $f : F :: D^2 : d^2$, cioè in ragione inversa del quadrato delle distanze.

Quando la bilancia elettrica debba servire d'elettrometro per valutare delle tenuissime tensioni si sostituisce al filo d'argento un sottile filo di sospensione tratto dal bozzolo. In generale la bilancia riesce tanto più sensibile quanto più è lungo e sottile il filo di sospensione.

1234. Volta allo scopo di misurare la forza elettrica si servì di quella di gravità, con cui si confrontano tutte le altre ed è il principal campione per le valutazioni degli agenti nella mecanica (§ 188). A tal fine egli ha modificato in alcune parti la bilancia comune, che in tale stato chiameremo *bilancia elettrica di Volta* per distinguerla da quella di Coulomb, essendosene principalmente servito a regolare la graduazione degli elettrometri ed a renderli fra loro comparabili (1).

Consiste l'apparecchio di Volta in una bilancia della forma comune e delle più sensibili, coi gusci d'ottone, l'uno dei quali ha il diametro di centimetri 13,6 (5 pollici), appeso con sottili fili di seta. Al di sotto di questo guscio sta fisso parallelamente un piattello d'ottone sostenuto da un piede deferente o coibente. Elettrizzando il guscio isolato, è desso attratto ad una data distanza dal piattello sottoposto, la quale attrazione viene equilibrata dal peso posto sull'altro guscio. Si è in tal modo che Volta valutava la forza elettrica per rendere comparabili gli elettrometri Dimostrava inoltre la variazione della forza attrattiva elettrica secondo che il piattello era isolato o in comunicazione col suolo, e in quali casi aveva luogo per l'attrazione la legge dell'inversa del quadrato della distanza come per la ripulsione. L'apparato, tale e quale è stato proposto da Volta, non è adatto a verificare la forza elettrica. Imperocchè i corpi, fra i quali essa agisce, devono avere piccole dimensioni in confronto delle distanze, in guisa che i centri di figura si possano considerare coincidenti con quelli delle forze. A tal fine la bilancia, secondo l'idea del grande Italiano, dovrebbe essere ridotta ad una semplice asticciuola sospesa orizzontalmente, alla cui estremità sia attaccato il dischetto elettrizzato che prova l'attrazione d'altro dischetto sottoposto. Con questa disposizione si renderebbe più sensibile, ed inoltre si semplificherebbe an-

(1) Si vegga la *Collezione delle opere di Volta*, t. 1, parte 2ª, pag. 64 e seg.

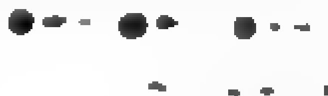


che di più costruendo l'altro braccio dell'asticciuola in modo da potervi scorrere facilmente un piccolo peso, per essere portato alla distanza conveniente all'equilibrio come nella stadera (§. 444)

Questa legge potrebbe altresì essere dimostrata coll'ago dell'elettroscopio (§ 1248,), formato di materia coibente, e fornito all'estremità di dischetto elettrizzato. Ponendo di contro al dischetto ed a differenti distanze un corpo, e discostando l'ago da tale posizione, questo incomincierà ad oscillare: si contino in ogni caso il numero delle oscillazioni fatte nel medesimo tempo e questi numeri daranno il rapporto delle forze, sapendosi che queste sono proporzionali ai quadrati dei numeri medesimi (§ 400).

1255 Volta per la comparabilità degli elettrometri ha stabilito due punti fissi, che gli servirono d'estremi della scala. lo zero elettricità in cui il pendolino si mette nella direzione verticale, e la tensione capace ad equilibrare colla sua bilancia elettrica il peso di grammi 0 7644 (grani 12) alla distanza di millimetri 54 (pollici 2). Divideva in 25 parti eguali l'arco descritto dal pendolino per salire dallo zero all'altro punto estremo sotto l'azione di quella tensione elettrica. In tal maniera otteneva l'*elettrometro fondamentale*, al quale riferiva i gradi degli altri più o meno sensibili secondo le dimensioni e la gravità dei pendolini. Del resto, per conoscere tutte le cautele usate dal celebre fisico italiano in queste delicate esperienze, si può consultare l'opera succitata

Il risultato di altre sue sperienze pel quadrante elettrometro è riferito in una nota alla pag. 55-56 della sua opera *L'identità del fluido elettrico* ecc. Pavia 1814. Dall'1 sino ai 5 gradi dell'elettrometro si faccia l'aggiunta di 2 per avere i gradi di forza; dai 6 ai 9 l'aggiunta per la correzione sia di 1 $^{1}/_{2}$; dai 10 ai 15 soltanto di 1, dai 16 ai 24 i gradi elettrometrici corrispondono a quelli delle forze, e così sembra dai gradi 25 e 26, mentre dai 27 ai 30 la correzione addizionale deve crescere gradatamente da 1 sino quasi a 2 e continuare l'ultima sino ai 35. Al grado 36 si aggiunga per la correzione quasi 4, seguitando egualmente sino al 41, al 42 il numero additivo incomincia con 7 $^{1}/_{2}$ proseguendo istessamente sino al 47; dal 48 al 53 si aggiunga 15 per avere la forza, e dai 54 ai 59 si faccia l'aumento di 30, ed ai 60 di altri 60. Con questi dati è facile tradurre i gradi dello strumento in gradi di forza; così 7 gradi del quadrante elettrometro equivarranno a gradi 8 $^{1}/_{2}$ di forza; gradi 11 equivarranno a 12 di forza; gradi 36 a 40; gradi 50 a 65, gradi 57 ad 87 e gradi 60 a 120 di forza.



1236. Gli apparati di Volta e di Coulomb furono modificati da Harris il quale fece pure delle indagini sulla forza elettrica (1). Invece del fusto della bilancia egli si è servito d'un filo accavallato ad una carrucola, all'estremità del quale agisce la forza elettrica ed all'opposta la gravità da cui è equilibrata come nella bilancia di Volta. In quanto all'altro apparato di Harris non è sospesa l'asticciuola ad un sol filo come nella bilancia di Coulomb, ma a due fili di seta *ef*, *gh* (fig. 284) e in tal modo si ha la *bilancia bifilare*. La forza che reagisce contro quella elettrica dipende in quest'apparato dalla gravità e non dall'elasticità; giacchè, girando l'asticciuola intorno al centro di gravità e equidistante dai due fili, questi deviano dalla direzione verticale, il centro di gravità s'innalza e tende a ricadere per ricondurre i fili e l'asticciuola alla primitiva posizione. L'asticciuola è sospesa in una custodia di vetro con un arco graduato per misurarne la deviazione. Dal numero dei gradi si calcola, mediante una formola, la forza tendente a far abbassare il centro di gravità e quindi la forza elettrica da cui è equilibrato.

Coulomb e Volta hanno altresì dimostrato che alla stessa distanza la forza elettrica è in ragione della carica. Ma questa è in funzione della capacità e della tensione (§. 1239), perciò quella forza sarà in ragione composta diretta della capacità e della tensione, e quindi, contemplando anche la distanza *d*, sarà la forza $f = \frac{ct}{d^2}$.

1237. In virtù della forza espansiva, l'elettrico tende a diffondersi ed a mettersi in equilibrio sui corpi conduttori. L'elettrico naturale ai corpi pare uniformemente sparso in tutta la loro massa come il calorico. Ma quando essi ne posseggono in quantità maggiore o minore della loro dose naturale la distribuzione è ben lungi di farsi equabilmente. Alcuni valenti matematici, partendo da alcuni fatti fondamentali ed appoggiandosi alla legge delle azioni elettriche secondo le varie distanze, ne hanno dimostrato la distribuzione per diversi corpi regolari, e negli altri casi si è dovuto contentarsi dei risultati della sola sperienza. Per lo passato credevasi che l'elettrico libero si mettesse in equilibrio nei corpi differenti penetrando nella loro massa. Fu il primo Beccaria a dimostrare che quel fluido si porta alla superficie, disponendosi in sottile strato, e lasciando le pareti interne dei corpi allo stato naturale (2). Questo nuovo passo fatto fare alla

(1) *Traité de l'électricité et du magnétisme*, par Becquerel, t. v, parte 2ª, p. 56.
(2) Beccaria, *Elettricismo artificiale*. Torino 1771, pag. 193, § 456.

scienza dell'illustre fisico italiano, fu poscia confermato con diverse sperienze, le principali delle quali andremo qui dichiarando. Nel sistema d'un sol fluido la materia ponderabile ha grande affinità per l'elettrico e l'attrae secondo la nota legge dell'inversa del quadrato della distanza; una volta che ne sia satura, il fluido eccedente si porta alla superficie e tende a fuggire nello spazio in virtù della sua espansibilità

La sfera cava di metallo G è collocata sul piede isolatore CD (fig.285) la quale può essere esattamente coperta colle calotte emisferiche *a*, *b*, munite di manico coibente e di due pendolini di filo di lino Caricata d'elettrico la sfera e poscia coperta colle calotte, i pendolini di queste divergono e mostrano che anch'esse si sono elettrizzate. Separate esse dalla sfera, i pendolini continuano a divergere ed attestano ancora la presenza dell'elettrico; mentre la sfera se ne trova affatto spogliata.

Si abbia una sfera di metallo cava ed isolata del diametro di 18 in 20 centimetri e con un'apertura circolare superiormente del diametro di circa 2 centimetri, che si elettrizza come la precedente. Si cali in essa una pallottolina di midollo di sambuco o un cilindretto di carta dorata appeso ad un filo di seta, toccandone il fondo, e poscia si estragga. Si trova che la pallottolina non è stata investita di elettricità, mentre posta a contatto colla superficie esterna della sfera dà segni manifesti d'essersi impossessata dell'elettrico della medesima. Se si cala dentro la sfera e se ne tocca il fondo colla pallottolina già elettrizzata questa si scarica e il fluido va ad occupare la superficie esterna della sfera medesima. Si ottiene lo stesso risultato con un cilindretto di metallo cavo. Questo è in fondo l'esperienza del *pozzo elettrico* di Beccaria, il quale chiamava *secchia* il cilindretto di carta dorata.

Dalle precedenti due sperienze resta dimostrato che l'elettrico si porta alla superficie dei corpi conduttori. S'intende anche come una palla cava ed una massiccia di metallo dello stesso diametro abbiano eguale capacità per l'elettrico, prendendo ambedue la metà della carica ad un globo metallico della medesima grandezza. Avviene lo stesso quando l'elettrizzazione è in meno · allora tutte le parti interne restano allo stato naturale per l'attrazione che ha la materia coll'elettrico e la superficie sola ne è in difetto.

1258. Da questo principio riceve spiegazione e conferma la seguente sperienza di Franklin. Una lunga catenella metallica è appesa ad un sottile filo di seta, che si cala ammucchiandola sopra un piatto

metallico sorretto da un isolatore e munito di due pendolini come le calotte della precedente sperienza. Si elettrizza il piatto, e poscia si rialza pel filo di seta la catenella spiegandola nell'aria. A misura che le parti interne della catenella ammucchiata si spiegano all'aria, l'elettrico trova maggiore superficie su cui estendersi e i pendolini indicano minor tensione, ma lasciandola ricadere ammucchiata sul piatto, la tensione aumenta di nuovo e ritornerebbe al grado di prima se non si disperdesse l'elettrico durante lo sperimento.

Un tubo di metallo, composto di parecchi più corti scorrevoli l'uno nell'altro a guisa dei cannocchiali, si assicuri sopra un alto piede isolatore e gli si unisca il quadrante elettrometro. Con ganci, muniti di manico coibente, si allunghi o si raccorci il tubo applicandoli a fori fatti alle due estremità. La tensione elettrica diminuisce allungandolo ed accresce raccorciandolo: nel primo caso si rende maggiore, nel secondo minore la superficie.

Della stessa specie è l'esperienza che s'istituisce nella scuola col *verricello elettrico*, il quale somiglia appunto alla machina dello stesso nome (§. 455), col a differenza che l'asse del subbio è di vetro e sostenuto da isolatori. Una lunga benda di tessuto metallico è assicurata per un capo al subbio, cui si avvolge tenendola per l'altro mediante un nastro di seta. Un metallo del subbio comunica con un elettrometro, ed indica la tensione che ha l'apparato quando la benda è avvolta ed elettrizzata. Facendo girare l'asse in contrario verso, la benda si svolge e dispiega maggior superficie su cui si distende l'elettrico. L'elettrometro, a misura che si rende estrinseca maggior superficie, segna minore tensione, la quale ritorna ad accrescere rivolgendo di nuovo la benda metallica sul subbio. È in un modo somigliante che le nubi cambiano la loro capacità per l'elettrico.

1239. In qual maniera si distribuisce l'elettrico in più o in meno sulla superficie de' conduttori isolati? Si ripartisce esso uniformemente su tutta l'estensione, oppure l'elettricità è maggiore in alcune parti che in altre? Queste questioni hanno servito di soggetto agli studi di valenti matematici e dato argomento ad indagini di esperti sperimentatori. Dobbiamo annoverare fra i primi, oltre Laplace e Poisson, due italiani Plana e Belli (1), e fra i secondi, oltre Coulomb,

(1) Dopo i primi tentativi di analisi di Laplace, comparvero sotto forma più completa le *Memorie* di Poisson sulla distribuzione dell'elettrico alla superficie dei corpi perfettamente conduttori, presentate all'Accademia di Francia negli anni 1811 e 1812, in seguito la Memoria di Belli *Della distribuzione dell'elettrico ne' corpi*

un altro italiano Volta (1). Le deduzioni sinora ottenute col calcolo si accordano sufficientemente coi risultati dell'esperienza. Coulomb si è con particolare diligenza occupato della distribuzione dell'elettrico sui corpi di diversa forma, Volta ha determinato la forma dei conduttori più conveniente alla capacità per l'elettrico. Daremo un sunto dei risultati più importanti pel nostro Corso elementare.

Gli strati dell'elettrico alla superficie dei corpi possono, nell'accumulamento, essere considerati che aumentino in grossezza rimanendo costante la densità, oppure conservandosi egualmente grossi aumentino in densità. È indifferente nelle indagini sperimentali di adottare l'una o l'altra ipotesi. All'inverso succede per lo stato elettrico negativo. Sopra la superficie delle sfere conduttrici è mestieri che questo strato abbia in ogni punto l'eguale densità; giacchè per l'euritmia e la regolarità del corpo non vi ha ragion di ritenerlo più denso in questo che in quell'altro punto. Una tale uniforme distribuzione è difatto confermata dall'esperienza e dal calcolo. Nelle altre forme poi, non verificandosi l'euritmia di parti alla superficie, non può avere lo strato eguale densità in ogni punto.

1260. Un sottile filo di vetro o di seta, intonacato di gommalacca, porta all'estremità un dischetto di carta dorata e forma il *piano di prova* per esplorare in ogni punto la densità dello strato elettrico positivo o negativo, distribuito sulla superficie del conduttore isolato. Si tocca col piano di prova il conduttore in un punto a e se ne misura la tensione elettrica alla bilancia, e poscia la tensione di altro punto a': con ciò si ottiene il rapporto delle tensioni, il quale esprime eziandio quello delle densità dello strato elettrico nei due punti, con cui coincideva il piano di prova. Pel disperdimento dell'elettrico avvenuto nell'intervallo delle due prove può accadere qualche lieve errore, che si corregge combinando le sperienze in modo che si compensino da se medesime. Dopo aver toccato col piano di prova i punti a, a', si ripete il toccamento di a lasciando scorrere fra questa e la seconda osservazione l'egual tempo passato dalla prima alla seguente, e si prende la media aritmetica delle due

conduttori, inserita in quelle della Società italiana. Modena 1840, e poscia di l'altra *Memoria sulla distribuzione dell'elettricità alla superficie di due sfere conduttrici compiutamente isolate*, nelle Memorie dell'Accademia R. di Torino, 1845.

(1) Le *Memorie* di Coulomb fanno parte di quelle dell'Accademia di Parigi degli anni 1786 al 1798; e quelle di Volta pubblicate nel 1778 trovansi nella *Collezione delle sue opere*, t. 1, parte 1ª, pag. 183.

tensioni dello stesso punto a, la quale può ritenersi con molta approssimazione fatta contemporaneamente a quella del punto a'. Il piano di prova s'impossessa di tutto l'elettrico dell'elemento del conduttore cui si sovrappone, nello stesso modo delle calotte che coprono la sfera elettrizzata (§. 1257).

La teorica del piano di prova è stata data da Piana nell'opera su citata pag. 314, mostrando la giustezza del medesimo per la determinazione dei rapporti delle intensità elettriche. Nella pratica però devesi aver riguardo alla dose d'elettrico levata in ogni toccamento, la quale è a scapito della tensione successiva. Per ovviare anche a questa differenza, che è tenuissima quando il conduttore ha una certa grandezza, basta nelle successive esplorazioni operare col piano senza scaricarlo. Osservisi inoltre che in queste indagini l'aria deve essere ben secca, la bilancia molto sensibile e il manico del piano di prova abbastanza sottile per essere dotato di perfetta coibenza. Allo scopo di assicurarsi di quest'ultima proprietà si esperimenta se l'elettrico si diffonda lungo il manico. I conduttori isolati devono altresì avere abbastanza capacità da rendere insensibile la dispersione durante il tempo dell'esperimento, di cui d'altronde si fa la correzione nella maniera indicata.

1261. Chiamiamo con n il rapporto delle densità dell'elettrico determinate nel punto di mezzo ed all estremità per es. d'un conduttore cilindrico. Si metta poscia in comunicazione con esso un altro conduttore in modo che l'elettrico si ripartisca sui medesimi: esplorando di nuovo lo stato elettrico in quei due punti, si trova ancora il medesimo rapporto n. Per l'equabile distribuzione dell'elettrico su due conduttori cilindrici eguali, è necessario ch'essi si tocchino per le loro parti omologhe ed euritmeticamente, in questo caso l'elettrico sul conduttore si riduce alla metà, e il rapporto n risulta ancora il medesimo. Lo stesso si verifica se l'elettrico è ridotto alla terza, alla quarta ecc. parte. Da ciò si ricava che le quantità assolute d'elettrico prese successivamente col piano di prova in un medesimo punto sono costantemente proporzionali alla somma totale di fluido distribuito sul corpo all'istante del contatto, e qualunque sia questa somma, le quantità prese contemporaneamente su diversi punti della superficie conservano invariabilmente lo stesso rapporto. Questa proporzionalità si riscontra nei conduttori di qualunque forma.

1262. Si è in tal maniera che Coulomb ha determinato la densità dell'elettrico nella distribuzione su corpi di differente forma. Nei diversi punti di due globi d'egual diametro posti fra loro a comba-

ciamento, la densità dell'elettrico libero è nulla dal loro punto d'unione sino alla distanza d'un arco di 20°. Incomincia poscia ad essere sensibile ed a crescere gradatamente, essendo ai 90 ed ai 180 gradi nel rapporto di 1 a 1,05. Coulomb ha determinato altresì la densità dell'elettrico nella distribuzione sopra un maggior numero di globi di eguale grandezza posti al contatto l'uno coll'altro in linea retta, ed ha trovato che in generale, mentre cresce lentamente da quegli intermedii ai seguenti, aumenta con rapidità dai due penultimi agli estremi. La distribuzione poi su due globi di diverso diametro succede in modo che nel minore la densità è più grande e tanto più quanto il suo diametro è più piccolo per rispetto a quello dell'altro globo.

Nel contatto tangenziale d'un piano e d'un globo, il fluido si divide in ragione delle loro superficie. La densità infatti sopra un globo del diametro di centim. 21,6 (8 poll.) fu misurata da Coulomb di 144°, e dopo il combaciamento, con un disco circolare isolato del diametro di centim. 43,2 (16 poll.) si ridusse a 47°. Si è dunque comunicato al disco la quantità espressa da 144—47=97, ossia una quantità pressochè doppia di quella dal medesimo ritenuta. Ora la superficie del globo eguaglia 4 dei suoi circoli massimi, ed il disco, essendo di doppio diametro, avrà una superficie equivalente pure a 4 di quei cerchi, ossia la superficie del globo eguaglierà quella del disco. Ma questo ha la superficie anteriore e posteriore, che formano nella somma un'estensione doppia della superficie del globo medesimo. Ed è appunto nello stesso rapporto che si è ripartito l'elettrico sui due corpi.

1263. Interessa pei nostri studi di conoscere la distribuzione dell'elettrico sui conduttori cilindrici terminati in emisferi d'eguale o di maggiore diametro, come quelli che s'incontrano comunemente nelle macchine e nelle esperienze intorno all'elettricità. Sui conduttori cilindrici come pure su quelli prismatici, la densità dello strato è minima al punto di mezzo e massima alle estremità. Nel conduttore parallelepipedo della forma di lamina della lunghezza di centimetri 29,7, della larghezza di 2,7 e della grossezza di 0,12, le densità dell'elettrico al centro ed alla distanza di cent. 2,7 dall'estremità stanno nel rapporto di 1 : 1,20, ed all'estremità stessa come 1 : 2,02. Esplorando la densità dell'elettrico alla testa, il rapporto diventa 1 : 4,01. Ripetendo l'esperimento sopra una lamina di doppia lunghezza, cioè di cent. 59,4 e nel resto delle stesse dimensioni, si sono trovati i medesimi rapporti. Il rapido aumento della densità dell'elettrico verso le estremità delle verghe parallelepipede ha luogo

in generale per tutti i conduttori prismatici e cilindrici; ed esso è tanto più rapido quanto più sono sottili.

In un cilindro della lunghezza di cent. 81 (30 poll.), che terminava in emisfero, le densità dell'elettrico dal punto di mezzo a cent. 5,4, a cent. 2,7 dall'estremità, ed all'estremità stessa progredivano secondo i rapporti seguenti 1 . 1,25 . 1,8 : 2,3. Ma ciò che importa è di riconoscere come la densità progredisce nei cilindri di diversa grossezza: ecco a tal proposito i risultati ottenuti da Coulomb in conduttori cilindrici dei diametri qui sotto notati, della lunghezza ciascuno di cent. 81 (30 poll.) e in comunicazione col medesimo globo all'estremità

Densità media del glob		di cent. 21,6 (8 poll.) di diametro	1,00
—	d'un cilindro	di cent. 21,6 di diametro . .	0,60
—	—	di cent. 10,8 (4 poll.) di diametro	0,85
—	—	di cent. 5,4 (2 poll.) di diametro	1,30
—	—	di cent. 2,7 (1 poll.) di diametro	2,00
—	—	di cent. 1,4 (6 linee) di diametro	9,00.

La densità dunque verso gli estremi dei conduttori cilindrici elettrizzati va aumentando a misura che diminuiscono in grossezza, e nell'ultimo cilindro del quadro precedente che ha $^1/_{16}$ di diametro del primo, la densità è 15 volte più grande che in questo. Coulomb ha istituito degli sperimenti con dischi circolari, nei quali la densità dell'elettrico aumenta più rapidamente verso gli orli, che nelle zone intermedie. Per l'elettrizzazione negativa si verificano le stesse leggi della positiva nei conduttori d'ogni forma.

1264. Nelle macchine elettriche il conduttore principale è d'ordinario un grosso cilindro di metallo di limitata lunghezza (§ 1220). Prima di Coulomb, Volta nella memoria succitata ha trovato che se ne aumenta la capacità distendendone la superficie sopra una maggiore lunghezza, tenendone la grossezza proporzionalmente minore; e che quindi conveniva in alcuni corpi di fare i conduttori della macchina poco grossi ed invece molto lunghi. Formava egli dei cilindri di legno ben lisci della lunghezza ciascuno di metri 2,60 (8 piedi) e del diametro di circa centim. 1,4 (6 linee), che terminavano in emisfero. Erano essi inargentati per renderli conduttori alla superficie, e disposti a contatto l'uno in seguito all'altro in parecchi ordini. In tal modo aveva un sistema di conduttori che sospendeva isolati con cordoncini di seta e metteva in comunicazione col conduttore principale della macchina elettrica. Coll'aggiunta di questo

sistema si cavano dal conduttore principale delle scintille, che producono gli effetti, di cui si è parlato (§ 1239). Egli valutava la carica di cui è capace quel sistema di conduttori contando il numero dei giri del disco della macchina per ottenere una data tensione. Con 12 di quei conduttori, disposti nella maniera indicata, si ottengono delle scosse non inferiori a quelle che si hanno da un altro apparato condensatore del elettrico, di cui quanto prima parleremo. Bisogna soltanto dirigere la scarica sopra corpi in perfetta comunicazione coll'interno della terra, come sarebbe un filo metallico che va a mettere capo nell'acqua d'un pozzo.

1268. Quando i conduttore va assottigliandosi dal punto di mezzo verso le estremità, l'elettrico si condensa in queste ancor più rapidamente. In un'elissoide di rivoluzione si è rinvenuto, col calcolo e coll'esperienza, che le densità dello strato elettrico, al punto di mezzo ed alle estremità, stanno in ragione del diametro equatoriale e dell'asse di rivoluzione. Laonde se l elissoide è molto lungo in proporzione della grossezza equatoriale, l'elettrico risulta di grande densità agli estremi e quindi la tensione può divenire bastante da vincere la coibenza dell'aria e di disperderlo nei corpi circostanti e nel suolo. Se l'elissoide è elettrizzato negativamente, le estremità si troveranno in difetto maggiore d'elettrico più il solido è allungato, talchè la materia verso que la parte potrà avere tale forza di attrazione, per mettersi allo stato naturale, da togliere l'elettrico all'aria e richiamarlo ben anche dai corpi circostanti e dal suolo.

Rilevasi da ciò il potere delle punte di disperdere l'elettrico, come altrove se ne sono mostrati gli effetti (§. 1224). Le punte nei conduttori possono infatti essere considerate come gli estremi di lunghissimi elissoidi, per cui la tensione alle loro estremità diventa grandissima e capace di rompere l'equilibrio, prodotto per la coibenza dell'aria. È appunto per questo potere delle punte che i corpi conduttori da essere elettrizzati devono essere ben lisci alla loro superficie e rotondati e cilindrici in ogni loro parte, onde non ne nasca quell'aumento di tensione capace a fare scomparire il loro stato elettrico. Parimenti una persona sullo sgabello isolatore non si può elettrizzare ad una grande tensione, presentando le sue vestimenta, i capelli ed alcune altre parti del suo corpo delle forme acuminate, per le quali ha luogo la dispersione. Stendendo sopra il capo della persona così elettrizzata il palmo della mano d'altra persona in comunicazione col suolo, i capelli si sollevano verso il medesimo e

tendono a disperdere lo stato elettrico. Nella scuola si fa un esperimento consimile con un anello di ottone, che è sostenuto da un piede isolatore e porta all'ingiro parecchi fili di lino. L'anello si mette in comunicazione col conduttore della macchina, e si elettrizza unitamente ai fili di lino: questi si dirigono all'infuori della periferia e tendono a disperdere nell'aria l'elettrico. Se l'anello metallico è in comunicazione col suolo e disposto, per mezzo di cilindretti di vetro concentrico, ad una viera che s'introduce nel conduttore della macchina, all'atto dell'elettrizzazione tutti i fili di lino si dirigono verso il centro dell'anello per togliere alla viera l'elettricità e disperderla nella terra. Le trecce di paglia, che levano facilmente lo stato elettrico a malgrado della loro poca conducibilità, devono questa loro proprietà alla gran moltitudine di punte, di cui è sparsa la loro superficie.

1266. Lo stato elettrico d'un corpo non solo vien meno in causa delle punte, ma in virtù dei sistemi isolatori e del contatto dell'aria più o meno umida. Osserviamo primieramente che i migliori coibenti non oppongono un ostacolo insuperabile alla diffusione dell'elettrico; e cilindri di vetro, di gommalacca, di solfo ecc. applicati per un'estremità al conduttore della macchina, divengono elettrizzati sulla loro lunghezza in porzione più o meno grande secondo il tempo che ha durato il combaciamento. Quando si adoprano come isolatori e sono molto corti, l'elettrico può ben presto guadagnarne l'intera lunghezza e disperdersi in flusso lento ma continuato.

Osserviamo altresì che le molecole dell'aria a contatto sono elettrizzate e poscia repulse, e danno luogo ad altre per essere elettrizzate alla loro volta. In tal modo si rinnovano delle perdite, che scemano l'elettricità del conduttore. L'umidità e le sostanze volatilizzate vaganti nell'aria tolgono inoltre alla medesima la sua coibenza; e d'altra parte i vapori acquei, depositandosi sulla superficie dei sostegni e sul disco della macchina, concorrono in una maniera ancor più efficace a scemare lo stato elettrico dei corpi e del conduttore principale della medesima.

I fisici perciò hanno cercato di valutare le circostanze che influiscono a scemare lo stato elettrico dei conduttori, incominciando dalle perdite prodotte dal combaciamento dell'aria, e poscia passando a quelle per gl'isolatori.

1267. Nel primo caso si sono scelti isolatori formati delle migliori materie coibenti, e così sottili che potessero equivalere a co-

lonne d'aria. L'esperienza ha dimostrato a Coulomb che, a modica tensione, un sottile cilindretto di gommalacca del diametro di millim. 1 $^1/_4$ ($^1/_2$ linea), e della lunghezza di 40 in 45 (18 in 20 linee), isola perfettamente una pallottolina di sambuco di mill. 11 in 14 di diametro (5 in 6 linee). Laonde, sostenendo la pallottolina con parecchi di quei cilindretti, l'intensità dell'elettrico non scema di più di quando è sorretta da un solo. Essendo l'aria molto secca, un filo di seta passato per la gommalacca liquefatta, formandone un piccolo cilindro di circa $^1/_4$ di millim. di diametro, riesce un ottimo isolatore, dandogli la lunghezza di 100 in 165 millim., mentre un filo sottilissimo di vetro della stessa lunghezza tirato alla lucerna, non isola così bene se non quando l'atmosfera sia estremamente secca. Lo stesso avviene del filo di seta quando non sia coperto di gommalacca. Questa circostanza prova quanto influisca il deposito dell'umidità sul vetro e su altri isolatori nella dispersione dell'elettrico.

Le osservazioni erano fatte colla bilancia elettrica dotata di tale sensibilità che il torcimento del filo per un'intera circonferenza equivaleva, agendo all'estremità dell'asticciuola, alla forza di $^1/_{64}$ di centigrammo ($^1/_{340}$ di grano di marco). Dagli sperimenti di Coulomb risulta che la perdita per l'aria può essere valutata ogni minuto da $^1/_{40}$ ad $^1/_{20}$ della tensione totale secondo lo stato di siccità dell'atmosfera. Se la tensione è considerabile e l'aria alquanto umida, la perdita diventa ancor più grande. Risulta eziandio dalle sue sperienze che, quando l'aria è secca e rimane costante il suo stato termometrico, igrometrico e barometrico, le perdite risultano proporzionali alle tensioni elettriche. La natura delle sostanze non esercita veruna influenza sulla dispersione dell'elettricità pel contatto dell'aria: infatti, il giorno in cui la dispersione era di $^1/_{82}$ per minuto in ciascuna pallottolina di midollo di sambuco della bilancia, risultava egualmente di $^1/_{82}$ in una di rame e in una di cera di Spagna delle stesse dimensioni. Imperocchè, quando le materie sono sature dell'elettrico voluto dalla loro natura, quello eccedente rimane libero e tende egualmente in ogni circostanza a mettersi in equilibrio sui corpi circostanti. La dispersione dello stato elettrico negativo succede con maggior rapidità di quello positivo, e questo non solo nell'aria ma ben anche in altri gas. Il prof. Belli la riscontrò osservando i tempi, che richiedevano per scemare dello stesso numero di gradi la tensione di conduttori isolati nelle stesse circostanze ed elettrizzati ora in più ora in meno e forniti ben anche di punte piantate su di loro o poste a

poca distanza e in comunicazione col suolo (1) Più avanti saremo meglio in grado di comprenderne la ragione.

1268. La dispersione per gl'isolatori si è valutata deducendo, dalla perdita totale, quella avvenuta in causa del contatto dell'aria. Dalle sperienze istituite in tal modo da Coulomb risulta che la dispersione per gl'isolatori è ordinariamente maggiore di quella che avviene per l'aria, e che la differenza aumenta o diminuisce secondo cresce o scema la tensione, giungendo ad un termine in cui le due dispersioni sono eguali e diventando ben anche la prima minore della seconda, ed insensibile e quasi nulla a tensioni debolissime.

In generale la perdita per gl'isolatori aumenta coll'aumentare la superficie che presentano alla dispersione dell'elettrico, e col scemare la lunghezza del cammino che pone ostacolo alla sua difusione Ne conseguita dunque che i sostegni, pei corpi da essere elettrizzati, devono essere sottili e lunghi quanto più sia possibile Siccome la superficie dei cilindri d'eguale altezza sono come i rispettivi diametri; così sembra che, avendo riguardo anche alla tensione, *dovrebbe essere la dispersione pei sostegni isolatori in ragione composta diretta dei loro diametri e delle tensioni ed inversa delle loro lunghezze*. Questo canone però non si estende a tutte le circostanze: infatti dalle sperienze di Coulomb si deduce che i corpi molto sottili, formati della stessa materia e d'eguale grossezza, diventano perfetti isolatori quando abbiano una certa lunghezza e sostengano dei conduttori caricati a debole tensione. Seguitano ad isolare perfettamente, se le tensioni siano proporzionali alle radici quadrate delle lunghezze degli isolatori medesimi (2) Coulomb inoltre ritiene che i sottili cilindretti di gommalacca siano 10 volte più buoni isolatori dei fili di seta d'eguale diametro e lunghezza.

1269 Si è imprigionato l elettrico fra materie solide per sperimentare quanto tempo si conserva senza l'influenza del contatto e dell'agitazione dell'aria circostante. A tal fine si è versato in un bicchiere conico del solfo o della resina liquefatta, dopo averlo ben riscaldato ed unto d'olio internamente, e si è avuto in tal maniera un pezzo di materia coibente che si adattava esattamente alla capacità del vaso. Si leva questo cono, si elettrizza rimettendolo ancora al suo posto, e si custodisce sotto una campana di vetro. Operando in

(1) Si veggano i volumi LXXXI, LXXXV ed LXXXVI del giornale la *Biblioteca italiana* del 1836 e 1837.

(2) *Traité de physique* ecc , di Biot. t II, pag. 262.

tal maniera si è trovato che anche dopo 5 in 6 mesi la materia resinosa dà segni elettrici. Canton ha elettrizzato internamente delle sfere cave di vetro, chiudendole poscia colla fusione, ed ha trovato che davano ancora segni dopo qualche anno (1), ed io, all'appoggio di questo fatto, cercai di costruire un elettroscopio, da cui poter tosto conoscere la specie d'elettricità d'un corpo; ma non tutti i vetri si prestano all'uopo (2).

Dal movimento dell'aria, a contatto dei corpi elettrizzati, ne nasce un lievissimo venticello che si denomina *aura elettrica* e che produce sulla mano la sensazione detta *titillamento*, di cui si è altrove parlato (§. 1224).

1270. Nelle stanze, dove si trovano radunate molte persone, l'aria acquista ben presto una grande umidità, che contribuisce assaissimo a diminuire gli effetti dell'elettricità statica. Ho avuto più volte l'occasione di vedere confermata questa verità nell'aula occupata da numerosa scolaresca: la machina produceva al principio abbondante elettricità, col tempo veniva meno e talvolta al punto di non dare che segni debolissimi. Per ovviare a tale inconveniente o almeno diminuirne le conseguenze bisogna procurare che l'aria dell'ambiente sia ventilata, e riscaldare gli isolatori e il disco della machina, e promuovere con carboni ardenti una corrente d'aria costante sul disco stesso, onde far evaporare l'umido, che vi si deposita.

Le sperienze di questa natura riescono meglio durante un tempo secco e quando spira il vento, che purga l'aria dai vapori e da tutte le sostanze, che contribuiscono alla dispersione dell'elettrico. È appunto per ciò che la primavera è d'ordinario la stagione più propizia allo sviluppo dell'elettrico per mezzo dello stropicciamento. L'autunno ed i giorni piovosi e nebbiosi, che rendono l'aria molto umida, sono sfavorevoli all'elettricismo. In quei paesi perciò, dove durante la maggior parte dell'anno soffiano venti secchi, le machine elettriche riescono più energiche e danno a pari circostanze delle scariche più poderose.

1271. Si è precedentemente mostrato come nell'aria, che circonda un corpo elettrizzato, succeda uno squilibrio locale o diremo uno spostamento molecolare dell'elettrico od essa naturale, pel quale il corpo medesimo esercita la sua azione a distanza su quelli circostanti (§. 1240). Esamineremo in seguito più circonstanzialmente

(1) *Trattato completo di elettricità*, di Cavallo. Firenze 1779, pag. 411.
(2) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, 1ª serie, t. II, pag. 45.

questo spostamento molecolare, il quale ha luogo non solo nell'aria, ma in tutte le materie coibenti; ora dobbiamo occuparci come sia rimosso l'elettrico naturale ai corpi conduttori isolati o in comunicazione col suolo, come pure quale influenza abbiano su di un altro già in istato elettrico. Si è già detto che lo stato elettrico, manifestatosi nei conduttori in virtù dell'azione del *coibente intermedio*, chiamasi *elettricità attuata o per attuazione*, la quale appartiene sempre alla classe dei fenomeni d'equilibrio o all'elettricità statica, non confondendola così coll'*elettricità indotta o per induzione*, che come vedremo si verifica nei fenomeni di corrente continua o nell'elettricità dinamica.

Gli sperimenti intorno all'elettricità attuata s'istituiscono con due globi o due dischi circolari, il cui orlo è incurvato all'indentro, collocati sopra un piede isolatore e ciascuno fornito d'un semplice elettroscopio a pendolo (fig. 286), o d'un quadrante elettrometro attaccato all'estremità d'un cilindretto metallico infisso perpendicolarmente nel centro del disco (fig 287) Ogni copia così disposta costituisce l'apparato conosciuto sotto il nome di *dischi coniugati*, con cui si studiano i fenomeni d'attuazione nei diversi casi. L'uno di essi A, che viene elettrizzato, appellasi il *disco attuante*; l'altro B, che d'ordinario è allo stato naturale e tenuto isolato o in comunicazione col suolo oppure anch'esso elettrizzato, chiamasi *disco attuato*.

1272. Abbiasi primieramente il disco attuante A elettrizzato in più e l'attuato B allo stato naturale e non in comunicazione col suolo. Avvicinando B ad A alla distanza di qualche decimetro e colle loro facce parallele, si osserva che l'elettroscopio di B incomincia a dar segni d'elettricità, crescendo sempre più la deviazione del pendolino a misura che diminuisce la distanza, in guisa che quando è ridotta alla minore possibile, senza che balenі la scintilla, l'elettrometro di B segna un grado di poco inferiore a quello di A. La manifestazione dell'elettricità in B sussiste, finchè esso trovasi in prossimità di A, ma allontanato gradatamente, l'elettroscopio di lui sempre più si abbassa e ad una certa distanza ritorna a zero. Riavvicinato e discostato di nuovo hanno luogo gli stessi fenomeni. L'elettricità sviluppatasi all'atto dell'avvicinamento del disco B, è omologa a quella di A cioè positiva

Quando il disco attuante A è elettrizzato negativamente si hanno su B le stesse indicazioni operando nell'eguale maniera; colla differenza che l'elettricità, che nasce nell'attuato, è pure negativa cioè omologa a quella dell'attuante.

il fluido elettrico, accumulato sul disco A, in virtù del potere scambievole ripulsivo delle sue molecole rimove localmente il fluido naturale all'aria interposta, la quale acquista all'estremità opposta lo stato positivo, con cui agisce su quello naturale al disco B, e lo respinge verso il lato esterno per la facoltà conduttrice del corpo, facendo innalzare il pendolino dell'elettrometro di elettricità positiva. Nel secondo caso la materia di A in difetto d'elettrico tende ad attrarre verso di sè il fluido naturale all'aria, la quale prende con ciò lo stato negativo dal lato del disco B ed esercita un'azione attrattiva sul fluido naturale di B conducendolo verso di essa e lasciandolo così in difetto dall'altro lato, di cui dà segni l'elettrometro. In quanto allo stato elettrico del disco attuante A, esso sente l'effetto della presenza del disco attuato B, e quando è positivo lo strato elettrico per la sua espansibilità tende a gettarsi sul disco B per mettersi in equilibrio e si addensa quindi un poco più sulla faccia anteriore che su quella posteriore, nella stessa maniera che l'attuato B diventa un poco negativo alla faccia anteriore e positivo su quella posteriore. Questo squilibrio è rappresentato con ispazi neri e collo spazio bianco nei due globi della fig. 288. Avviene un fenomeno consimile quando il disco attuante A è in difetto (fig. 289). Per comprovare anche coll'esperienza che alla superficie posteriore di A vi ha in ambidue i casi diminuzione di tensione elettrica, bisognerebbe collocare l'elettrometro a molta distanza dal disco (fig. 287), onde non provi l'influenza dello stato elettrico delle facce anteriori di ambidue. In questa come nelle seguenti sperienze bisogna tener conto della dispersione dell'elettrico, e perciò gli isolatori devono essere in buono stato e l'atmosfera ben secca.

L'elettricità, che si manifesta nei due casi sul disco B, è *accidentale*, non essendo prodotta da reale variazione in più o in meno del fluido naturale al disco medesimo, e dipendendo soltanto dalla presenza del disco A. Lo stato del corpo B sotto l'azione di A costituisce appunto ciò che abbiamo chiamato *elettricità attuata* o *per attuazione*, la quale è positiva o negativa secondo che il corpo attuante trovasi elettrizzato in più o in meno. L'elettricità in tal modo prodotta si manifesta alla sola superficie dei corpi, come è facile a convincersi sperimentando con uno degli apparecchi adoperati nel dimostrare una tale verità per l'elettricità comunicata (§. 1257); è tanto più grande quanto più grande è la tensione del corpo attuante e quanto più sporgente la superficie dell'attuato dove si rende sensibile; e infine cresce coll'avvicinare maggiormente i due corpi

1273. Quando il disco B, al momento che prova l'azione dell'altro A, si tocchi col nodo del dito o con qualunque corpo rotondato in comunicazione col suolo, ne balena la scintilla, e il suo elettrometro si abbassa. Nello stesso tempo si abbassa ad un tratto anche quello di A senza che perda o riceva elettrico. L'abbassamento dell'elettrometro di A succede gradatamente se si avvicini a B una punta, per la quale lo stesso B perde la sua elettricità attuata, succede egualmente accostando ad A il disco B posto previamente in comunicazione col suolo. Dopo che l'elettrometro di A si è abbassato in presenza di B in comunicazione col suolo, torna a rialzarsi a misura che questo si discosta, e riprende il grado primitivo quando è portato alla distanza cui non ha più luogo l'attuazione. In questo caso sul disco attuante A succede una rimozione dell'elettrico di cui è caricato, accumulandosi tutto o in parte sulla faccia anteriore, mentre la faccia anteriore del disco attuato B si mette allo stato negativo e quella posteriore allo stato naturale, come è rappresentato nella fig. 290.

Quando il disco attuante A è elettrizzato negativamente, mentre l'attuato B è in comunicazione col suolo, avvengono fenomeni somiglianti; e i due corpi in presenza hanno distribuito l'elettricità in più e in meno, come rappresenta la fig. 291.

In ogni caso, di elettricità positiva e negativa, il disco attuante in presenza di quello attuato diminuisce la sua tensione senza alterazione della quantità d'elettrico, per cui *aumenta di capacità*.

Osservisi inoltre che, se al principio dell'allontanamento si tolga a B la comunicazione col suolo, non solo si rialza l'elettrometro di A, ma dà segni d'elettricità anche il disco B, la quale, come è chiaro, è opposta a quella di cui si trova dotato il disco A. Ed ecco in qual modo si può *dare ad un conduttore lo stato elettrico reale senza metterlo in comunicazione con altro corpo elettrizzato.*

1274. Siano ora i dischi coniugati ambidue allo stato elettrico positivo. Avvicinandoli l'uno all'altro, i loro rispettivi elettrometri danno segni di maggior tensione, la quale cresce tanto più quanto più è piccola la distanza, da cui sono separati. Se vengono allontanati l'uno dall'altro, la tensione va diminuendo e diventa ancora la medesima di prima, tenendo conto della dispersione avvenuta durante l'esperimento. Avviene egualmente se i dischi coniugati sono ambidue elettrizzati negativamente. Lo stato elettrico nel primo caso è rappresentato nella fig. 292 e nel secondo nella fig. 293.

Da questo si deduce che *un corpo in presenza d'un altro allo stato elettrico omologo diminuisce di capacità* aumentando la sua tensione

1275. Infine sia l'uno dei dischi caricato in più e l'altro in meno e si avvicinino fra loro: si trova che gli elettrometri in ambidue si abbassano ed indicano diminuzione di tensione. Se, per es., A abbia la tensione di +25° e B di —15°, ad una certa distanza quella di B si annulla mentre l'altra di A diventa +10°. Diminuendo ancor più l'intervallo fra i due dischi, l'elettrometro di B s'innalza di nuovo, mentre quello di A continua ad abbassarsi; finchè ad una distanza ancor minore la tensione dello stesso A diventa zero e quella di B risulta di +10°: Tuttavolta se si portino alla medesima distanza di prima riprendono le loro rispettive tensioni. Nel caso d'eguale tensione dei due dischi avanti di essere posti sotto la loro reciproca azione, i due elettrometri cadono a zero nello stesso punto e lo stato elettrico positivo e negativo dell'uno e dell'altro è rappresentato nella figura 294.

Dunque *la capacità d'un conduttore aumenta in presenza d'un altro che abbia lo stato elettrico opposto di quello che deve essere al medesimo comunicato*. L'aumento di capacità è qui maggiore di quando uno dei corpi era in comunicazione col suolo (§. 1273).

1276. I principii dichiarati si applicano alla spiegazione di fenomeni ed effetti, di cui faremo qui conoscere i principali. Un corpo isolato si può caricare colla stessa machina o collo stesso corpo elettrizzato tanto positivamente che negativamente. Supponiamo che si abbia la machina a disco di resina o un bastone di ceralacca stropicciato col pannolano: è chiaro che il corpo si carica in meno mettendolo a contatto col conduttore o colla ceralacca, ma per caricarlo in più basta di avvicinarlo a piccola distanza dello stesso conduttore o bastone in maniera di produrre in esso l'elettricità attuata. In questo stato si scaricherà toccandolo colla mano, e poscia ritiralo, tenendolo isolato, riuscirà elettrizzato in più. In tal maniera si possono caricare, l'uno in più e l'altro in meno, i due globi deferenti con manico isolatore per istituire le sperienze, con cui si dimostra le due specie di elettricità (§. 1225).

Due corpi deferenti isolati, come sarebbero i cilindri A, B, si pongano a contatto per le loro estremità e di seguito l'uno all'altro, e sia A a tale distanza dal conduttore M della machina che non baleni la scintilla (fig. 295). Girando il disco, prende A all'estremità m lo stato negativo, e il suo fluido naturale si diffonde per esso e poscia nell'altro B condensandosi all'estremità n'. Separando i due corpi e ritirandoli mentre dura l'attuazione, è chiaro che A sarà carico negativamente e B positivamente.

1277. Dall'attuazione a distanza si comprende come si possa esplorare l'elettricità, di cui è dotato un corpo, senza metterlo a contatto col cappello dell'elettroscopio. Avvicinandolo infatti al cappello, prende questo per attuazione l'elettricità, ed i pendolini divergono. Che se lo strumento è già caricato di nota elettricità, l'avvicinamento del corpo farà aumentare la divergenza dei pendolini se è dotato di elettricità omologa. Ne diminuirebbe la divergenza se fosse fornito di elettricità contraria: ma ciò non è sempre indizio sicuro per argomentare che il corpo ha uno stato elettrico opposto a quello dell'elettroscopio, mentre produrrebbe lo stesso effetto quando fosse allo stato naturale e in comunicazione col suolo (§. 1273).

Avvicinando lo strumento ad un corpo elettrizzato dato, se gli si levi l'elettrico rimosso per l'attuazione, e si discosti dall'azione attuante lasciandolo isolato, è chiaro che sarà carico di elettricità opposta a quella che si ha disponibile.

1278. Un corpo in comunicazione col suolo ed a poca distanza dal conduttore carico della machina a disco di vetro, si metterà per attuazione allo stato negativo (§. 1273). All'atto che si scarica il conduttore, cessa l'attuazione e rientra nel corpo il proprio elettrico rifluito nel suolo. Per mostrare nella scuola il fenomeno si taglia la testa e si leva la pelle ad una rana sospendendola per la spina dorsale all'uncino d'un sostegno deferente in comunicazione col suolo. L'animaletto così disposto si mette a poca distanza dal conduttore della machina, che poscia si scarica: l'elettrico entra con veemenza nel corpo dell'animaletto, da cui era stato espulso per attuazione, e la scuote.

Durante una giornata temporalesca in cui il tuono rumoreggia per iscariche elettriche, che succedono fra le nubi, le persone di fibra delicata provano un effetto consimile. La superficie terrestre e gli oggetti, che vi trovansi al disotto d'una nube carica d'elettricità, per es. positiva, si mettono per attuazione allo stato negativo. Al momento che la nube attuante si scarica sopra altra nube o sopra qualche luogo distante, il fluido elettrico rientra con veemenza negli oggetti medesimi e quindi nella persona che ne faceva parte e produce su di lei la commozione. Questo fenomeno è conosciuto sotto il nome di *contraccolpo elettrico*, che i Francesi chiamano *choc en retour*, e gl' Inglesi *the returning stoke* (1).

(1) Sul contraccolpo elettrico lord Mahon ha fatto parecchie prove, come dal suo opuscolo *Principes of electricity* Londra 1779

Una nube, che trascorre nell'atmosfera, produce per attuazione dei movimenti nell'elettrico naturale ai corpi terrestri. Questi movimenti però succedono alla superficie della terra colla quale i corpi stessi comunicano. Nei fili metallici dei telegrafi elettrici, che sono isolati dalla terra ed hanno la lunghezza di alcune centinaia di chilometri, si genera l'attuazione, in causa delle nubi elettrizzate, capace a produrre delle scosse fulminanti e delle scariche poderose di elettrico, come risulta dalle osservazioni fatte (1). Appunto per ciò si mettono, a date distanze, degli scaricatori in comunicazione col suolo, per prevenire i tristi effetti che ne potrebbero derivare alle persone impiegate al telegrafo.

1279. Lasciando sgocciolare dell'acqua per un tubo capillare applicato al cannello d'un imbuto in comunicazione col suolo, a cui sta vicino un corpo elettrizzato, e raccolta l'acqua entro un vasellino isolato; si trova questa dotata di elettricità opposta a quella del corpo attuante. Giacchè staccandosi le gocce dal tubo capillare con quest'elettricità attuata, ne danno segni isolati nel vaso, dove non sono più soggette all'attuazione (fig. 206).

Tralles e poscia Volta hanno riconosciuto l'elettricità negativa nell'acqua divisa delle cascate d'acqua. Il fenomeno si attribuiva dal primo allo sfregamento delle goccioline d'acqua le une colle altre e dal secondo all'evaporazione (2); ma sembra secondo Belli (3), che dipenda dall'attuazione prodotta dall'elettricità atmosferica, la quale a ciel sereno è sempre positiva, e che sia un fenomeno somigliante a quello ottenuto nell'esperimento precedente.

1280. Da quanto si disse intorno all'attuazione, vedesi la necessità di tenere distanti da corpi elettrizzati, i conduttori di cui si voglia valutare la tensione e la capacità. Si deduce eziandio che i conduttori ripiegati a spira o in circolo, che si sono usati da alcuni per la machina elettrica, non possono essere molto capaci, quantunque in poco spazio presentino grande superficie, e ciò in causa dell'attuazione reciproca delle loro parti (§. 1274). Egli è per ciò che conduttori isolati sotto l'influenza di corpi elettrizzati sono in istato di offrire delle cariche apparenti, e quindi manifestare uno stato elettrico di cui realmente non sono dotati. Lo stesso si dica di corpi in comu-

(1) Vedi *Annali di fisica* ecc., t. xxvi, pag. 237, e seconda serie, t. i, p. 262

(2) Si vegga la *Collezione delle opere* di Volta, t. i, parte 2ª, pag. 239 dove cita anche Tralles

(3) Si vegga la *Biblioteca italiana* t. lxxxiii del 1836.

nicazione col suolo, che dopo essere stati isolati vengono trasportati in luoghi dove non provano più quell'influenza. Nel primo caso l'elettricità è omologa a quella dei corpi elettrizzati che esercitano l'attuazione, nel secondo risulta opposta. Parimenti può accadere che un corpo elettrizzato si mostri allo stato naturale sotto l'influenza di elettricità contraria.

1281. Coll'attuazione si può diminuire momentaneamente la tensione, d'un conduttore elettrizzato, in modo da ridurlo a ricevere un aumento di carica da altro conduttore a minor tensione. Infatti supponiamo due conduttori M, N, il primo carico in eccesso alla tensione di +25° e l'altro carico a +15°. È chiaro che N non può dare elettrico ad M, anzi ne riceverà. Si abbia un terzo conduttore elettrizzato negativamente, per es. a —20°, e si accosti convenientemente all'altro M: l'elettrometro di questo si abbasserà e ad una certa distanza si ridurrà per es. a +5°. In tale stato si metta in comunicazione coll'altro N a +15°, che trasmetterà ad M buona porzione del suo elettrico. Si tolga poscia la comunicazione, indi la presenza del corpo attuante, e il conduttore M, per l'elettrico ricevuto, mostrerà una tensione maggiore di quella che prima aveva.

In una maniera somigliante si opera per rendere sensibile all'elettrometro la debolissima tensione di un corpo elettrizzato. A tal fine si collochi in presenza al cappello dello strumento un corpo carico di elettricità opposta a quella di cui è dotato il corpo, con cui se ne accresce la capacità: in tal caso, mettendo in comunicazione il corpo a debolissima tensione coll'elettrometro, questo riceve un'abbondante dose d'elettrico, il quale spiega una tensione sensibile all'elettrometro tosto che si levi l'azione del corpo attuante.

1282. Un corpo elettrizzato non ne può attrarre un altro se non si trova in istato elettrico opposto. I minuzzoli di materia sono attratti dai corpi elettrizzati in quanto che essi, comunicando col suolo, si mettono per attuazione in contrario stato elettrico. Infatti questi piccoli frammenti materiali, ben isolati sopra un sostegno coibente, non vengono attratti neppure dal conduttore della macchina elettrica caricato a grande tensione. Barletti (1) poneva sopra un sostegno isolatore di notabile altezza, della segatura minuta di legno e della crusca, e collocava questi briccioli al disotto del conduttore isolato che elettrizzava mediante il conduttore della macchina. Per quanto

(1) *Dubbi e pensieri sopra la teoria degli elettrici fenomeni*. Milano 1771, pag. 44.

facesse ruotare il disco, i minuzzoli non concepivano verun moto; ma se comunicavano col suolo mettendoli così in istato di prendere per attuazione l'elettricità opposta, incominciavano tosto a saltellare verso il conduttore elettrizzato.

I piccoli battagli dello scampanio elettrico (§ 1244, sono attratti con difficoltà dal campanello elettrizzato per essere isolati appesi a fili di seta. Hanno però diametralmente opposto l'altro campanello in comunicazione col suolo, che contribuisce a lasciare loro prendere lo stato elettrico contrario nella faccia di contro a quello elettrizzato; ma d'altra parte per questa elettricità attuata sono attratti eziandio dal campanello in comunicazione col suolo e questa attrazione bilancia la prima. Avviene però che spesso il filo di seta non isola bene i battagli, per cui si caricano anch'essi di elettricità, ed allora, essendo repulsi da un lato ed attratti dall'opposto, si mettono in moto per questa duplice azione ed incomincia il tintinnio senza il bisogno di farli previamente oscillare.

Calando nel pozzo elettrico di Beccaria la palla A appesa ad un filo di seta (fig. 297,, si è veduto che essa non si elettrizza (§ 1257), perchè le attuazioni prodotte dalle pareti del pozzo medesimo PQ, sono eguali ed opposte. Ma introducendovi un filo metallico bc, che si accosta a poca distanza dalla palla A col globetto c in cui termina, ne balena una scintilla. Estraendo poscia la palla si trova dotata di elettricità contraria a quella del pozzo. Il filo metallico bc in comunicazione col suolo, al momento che s'introduce nel pozzo, prende per attuazione uno stato elettrico opposto, negativo cioè se il pozzo è elettrizzato positivamente; per cui dalla palla A balena la scintilla a scapito del suo elettrico naturale, ed estratta resta allo stato negativo.

1283. Dal principio dell'attuazione si comprende come si scarichi un conduttore elettrizzato a più riprese senza che disperda tutto ad un tratto l'intiera sua carica nel suolo, come avviene nel modo ordinario. Abbiasi il disco A carico d'elettrico, per esempio a +25°, che si vuole scaricare togliendogli l'elettrico un poco per volta (fig. 286). Si carichi di elettricità opposta l'altro disco B, per es. a —20°, e si collochi di contro ad A a tale distanza che l'elettrometro di B cada a zero, mentre quello di A segnerà ancora +5° (§ 1275). Coll'eccitatore si toglie questa tensione, e l'elettrometro di B s'innalzerà di 5°, mentre quello di A si abbasserà a zero. Si levino nello stesso modo i 5° di tensione di B, ed A ritornerà a segnare ancora 5°, i quali si levano con un secondo toccamento facendo ricomparire la tensione di

S' su di B. Continuando ad alternare i contatti dell'uno e dell'altro disco, si arriverà al punto in cui il disco A sarà interamente scaricato.

Dunque in un corpo elettrizzato, sottoposto all'azione attuante d'altro corpo in opposto stato, non si può che annullare l'elettricità libera, cioè non inceppata dall'azione dell'elettricità contraria del secondo corpo. La parte di tensione, che è bilanciata dall'attuazione del conduttore in istato elettrico contrario, resta celata o nascosta e dissimula in certo qual modo la sua presenza non dandone alcun segno è appunto per ciò che si suole chiamare *elettricità dissimulata* quella cui essa appartiene. L'elettricità dissimulata in un conduttore aumenta grandemente la sua capacità, ed avremo quanto prima occasione di vedere applicato questo principio alla costruzione di alcuni importanti apparati elettrici.

1284. Si abbia ora un numero qualunque di conduttori isolati, disposti l'uno in seguito all'altro come A, B, e fra loro a distanza sufficiente per non balenare la scintilla al momento che il primo A sia elettrizzato per attuazione dal conduttore M della machina (fig 295). Essendo M carico positivamente, si costituisce il primo conduttore A in istato negativo all'estremità *m* e positivo all'opposta *n* (§. 1272) diventando attuante pel seguente B, il quale risulta elettrizzato in difetto all'estremità *m'*, e in eccesso alle *n'*. Egualmente succederà del terzo conduttore, e in virtù di questo del quarto e così via via sino all'ultimo, che mostrerà alla sua parte estrema l'elettricità in più omologa a quella del corpo attuante principale M.

Alla lunga fila dei corpi deferenti isolati si sostituisca un coibente continuo, una colonna d'aria per es., un cilindro di vetro, un bastone di ceralacca, e l'attuazione succederà in ispazi più angusti in virtù della non conducibilità del corpo. L'elettrico proprio alle particelle *m*, affacciate ed anche a contatto del conduttore M, proverà egualmente la ripulsione del fluido del conduttore medesimo. In virtù però della natura coibente del corpo, quell'elettrico non può transitare e lasciarne l'estremità allo stato negativo, come succede nei cilindri di metallo. L'elettrico naturale alle particelle *m*, spinto in tal guisa, agisce sul fluido naturale alle molecole componenti lo strato seguente, nelle quali succede in un modo consimile lo squilibrio locale od una tendenza del loro elettrico a portarsi sul terzo strato. Parimenti l'elettrico naturale di questo strato agisce su quello del quarto e così progredendo sul quinto sino all'ultimo, dove si manifesta un'elettricità attuata, la quale sarà annullata dall'influenza dei

corpi circostanti o si diffonderà nel suolo, se comunica mediante un corpo deferente. È in tal maniera che per attuazione un corpo elettrizzato agisce a distanza sui corpi circostanti coll'intermedio dell'aria, come altrove si è dichiarato (§ 1240).

1285. L'attuazione prodotta nei corpi coibenti era stata dai fisici del trascorso secolo esaminata principalmente nel vetro e nell'aria. Quest'ultima, formando all'intorno del corpo attuante una sfera in istato elettrico, aveva fatto adottare in generale, per l'azione a traverso i corpi coibenti, la denominazione d'*atmosfera elettrica*. Da qui la dottrina delle atmosfere elettriche applicata da Epino, Volta, Beccaria e da parecchi altri fisici a dar ragione dei fenomeni, che si riscontrano in corpi separati da qualche coibente, l'uno dei quali sia elettrizzato, e che rientrano tutti in quelli dell'attuazione. Faraday, con una serie d'esperienze, generalizzò ed estese il principio dell'attuazione elettrica nei coibenti (1), trovando nei diversi corpi una differente manifestazione dell'elettricità a distanza e chiamando per ciò *dielettrici* quelli che più o meno si prestano a diffondere per attuazione la forza elettrica. I matematici però considerarono l'azione elettrica a distanza senza imbarazzarsi delle modificazioni, cui andava soggetto l'elettrico naturale del corpo coibente intermedio, nello stesso modo che nell'attrazione dei corpi a distanza si considera questa forza indipendentemente da qualunque mezzo intermedio, per cui essa possa esercitare la sua azione (§. 72). Queste modificazioni furono fatte soggetto di calcolo soltanto al principio di questo secolo dal cav. prof. Avogadro (2).

I corpi dielettrici provano, sotto l'influenza d'uno elettrizzato, un'attuazione molecolare, ossia le loro molecole acquistano una specie di polarità elettrica transitoria, da cui nascono due ordini di forze che rapidamente si alternano e si dissimulano vicendevolmente nell'interno del corpo, il quale manifesta due effetti speciali alle sue estremità. Questi effetti vennero sottoposti ad una nuova discussione analitica dal prof. Mossotti, giungendo all'equazione finale, la quale mostra che la somma delle elettricità libere, positive e negative, esistenti alle superficie conduttrici dei corpi del sistema, è nulla; e quindi, se i corpi interni isolati contengono una certa quantità d'elettricità

(1) *Transazioni filosofiche* della Società R. di Londra del 1838, dove si trova la Memoria dell'autore: *Experimentale researches on electricity*; si veggano altresì gli *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. XVI, pag. 54.

(2) *Journal de physique* di La Métherie, t. 63 e 65 degli anni 1806 e 1807.

libera, positiva o negativa, l'equilibrio si costituisce sempre in modo che l'eguale quantità è respinta nel suolo dalle pareti del recinto, dove trovasi il corpo dielettrico o richiamata dal suolo sulle medesime (1) Questo principio era già stato avvertito molti anni prima, come nota anche l'autore, dall'Avogadro nello scritto succitato, il quale, limitandosi all'attuazione reciproca che ha luogo fra due globi che si toccano (§. 1262), ritorna sull'argomento in altro suo scritto, che fa parte del t. xxiii delle Memorie della *Società italiana delle scienze* stampato in Modena nel 1842.

1286. Allo scopo di mostrare nella scuola l'attuazione attraverso i corpi dielettrici e la giustezza del riferito principio, si abbia un vaso cilindrico di metallo, per es di stagno, di latta, di peltro, d'ottone, simile al pozzo elettrico di Beccaria (fig 207) ben isolato sopra una colonnetta di vetro, la superficie esterna del quale comunichi coll'elettrometro a pagliuzze od a foglietta. Si elettrizzi una palla d'ottone sospesa ad un filo di seta e si cali dentro il vaso: tosto l'elettrometro dà segni di elettricità attuata sulle pareti, con un certo grado di divergenza dei pendolini. Se si tocca colla palla la parete del vaso, essa si scarica e comunica interamente la sua elettricità al vaso medesimo, per la quale non aumenta però la divergenza dell'elettrometro. A misura che la palla elettrizzata s'interna nel vaso, la divergenza aumenta sinchè, giunta ad una certa distanza dall'orlo superiore, diventa stazionaria quantunque si continui a calare la palla. Ciò prova che a tale distanza l'azione attuante della palla agisce interamente sul vaso, senza esercitarsi in parte sugli oggetti esterni. L'esperienza dimostra dunque che l'elettricità attuata dalla palla attraverso all'aria, e quella che essa possiede comunicata al vaso, sono equivalenti in quantità ed in intensità.

Prendendo uno, due, tre o più vasi concentrici ed isolati l'uno dall'altro per mezzi di sostegni di ceralacca, si hanno gli stessi fenomeni tanto coll'elettricità attuata quanto con quella diretta comunicata all'ultimo vaso. Cambiando la materia dei vasi e prendendoli di vetro, di solfo, di ceralacca, si riproducono i medesimi effetti come con un sol vaso Lo stesso si ottiene quando i vasi metallici comunicano fra loro con corpi deferenti In ogni caso l'azione diretta della medesima elettricità sparsa sulla superficie del vaso esterno, e quella attuata a traverso i corpi intermedii, è sempre eguale sull'elettrometro. Fenomeni consimili succedono se, invece della palla elettrizzata, s'in-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xxiii, pag. 191

troduce nel vaso un bastone di ceralacca elettrizzato per istropicciamento, oppure parecchi bastoni tutti elettrizzati Se uno di questi tocca la parete del vaso e gli altri agiscono per attuazione, gli effetti non cambiano. Si può empire ben anche il vaso d'olio o d'altra sostanza coibente e sommergere nel liquido il corpo elettrizzato che si hanno i medesimi risultati Può accadere però che, per la forma del corpo dielettrico, l'attuazione si disperda in parte e non agisca sull'elettrometro, come accade della palla elettrizzata che incomincia ad essere calata nel vaso S sovraponga orizzontalmente sul cappello dell'elettrometro a pagliuzze una lastra di vetro ben asciutta e polita, e le si avvicini dal disopra un corpo elettrizzato: si avrà una divergenza nelle pagliuzze, per es. di 10°, prodotta dall'elettricità attuata. Si ritiri ora la lastra senza muovere il corpo elettrizzato dal suo posto si osserva che la divergenza aumenta sino a 14 in 15 gradi. Supponiamo il corpo elettrizzato in più, il fluido naturale al vetro si squilibra anche nelle parti laterali e nel lembo della lastra, dove si produce un'attuazione che non esercita azione sull'elettrometro, anzi questa può essere contraria sulle pagliuzze con una ripulsione dall'esterno all'interno Laonde, levata la lastra, l'azione elettrica riesce maggiore e produce maggior divergenza, quantunque l'aria sia meno dielettrica del vetro Nell'esperienza di Gray (§. 1217), il tappo si elettrizzava appunto per attuazione.

Ogniqualvolta dunque ci si offre un corpo elettrizzato, dobbiamo subito ricorrere col pensiero all'esistenza d'altri corpi in attuazione elettrica, con cui si produce l'equilibrio. L'attuazione è la conseguenza dell'elettrizzazione, e tosto che questa esiste prende esistenza anche l'altra. Laonde *l'attuazione diventa la condizione essenziale dell'elettrizzazione*, come la reazione dell'azione, e l'una eguaglia sempre l'altra (§. 218).

1287 Faraday fece costruire un'armatura cubica di legno di metri 3,66 di lato (piedi 12) alla quale applicò delle lamine metalliche e formò una specie di camera che fu perfettamente isolata Collocava egli nell'interno un conduttore isolato, che elettrizzava colla machina elettrica L'aria rinchiusa non dava segni d elettricità, esplorata coi migliori elettroscopii; mentre si avevano forti scintille dalla parete esterna

La mancanza di segni elettrici nell'aria della camera di Faraday non è argomento diretto a mostrare che quel fluido non venisse elettrizzato, giacchè i pendolini, nel caso di elettrizzazione, dovevano provare eguale azione per ogni verso e quindi non potevano diver-

gere l'uno dall'altro. Quell'aria infatti si doveva elettrizzare per contatto lasciando, per la mobilità delle sue molecole, succedere nuova aria ad impossessarsi dell'elettricità del conduttore. L'aria rinchiusa in un ambiente si elettrizza più facilmente con una o più punte metalliche piantate sul conduttore. Si può anche far uso della fiamma di una o più candeline isolate, la quale comunichi mediante un filo di ferro col conduttore medesimo, come usava Volta (1). Beccaria osservava che l'elettrometro, unito alla macchina con cui elettrizzava l'aria dell'ambiente, dopo aver raggiunto una certa tensione incominciava a dar segni di diminuzione di alcuni gradi (2), che attribuiva allo stato elettrico acquistato dall'aria medesima. Infatti, pervenuto questo al punto di bilanciare la forza con cui il conduttore tendeva ad aumentarne la divergenza, s'impediva che i cuscinetti potessero comunicare al disco la stessa dose d'elettrico di prima, e l'elettrometro quindi dava segni di diminuita tensione. Sospendendo la rotazione del disco, l'elettrometro andava sempre più abbassandosi sinchè cadeva a zero; poscia si rialzava di nuovo con segni d'elettricità opposta. Al cessare della rotazione il conduttore, supposto elettrizzato in più, va perdendo per le punte il fluido di cui era carico, e l'elettrometro si abbassa ancor più e va a zero. A questo punto l'aria, rimanendo elettrizzata, produce per attuazione elettricità contraria sul conduttore e lo strumento rimane allo stato elettrico contrario a quello che aveva prima e diverge di nuovo. Se l'elettrometro di Faraday fosse stato nelle stesse condizioni di quello di Beccaria avrebbe avuto come lui segni elettrici dall'aria rinchiusa nella sua camera dopo essere stata elettrizzata.

1288. Faraday ha cercato di determinare l'attuazione particolare, che provano i diversi coibenti sotto l'azione d'un corpo elettrizzato e chiamasi perciò *potere dielettrico specifico*. Egli si serviva d'un recipiente formato di due emisferi di metallo, che si congiungevano ad esatto combaciamento pei loro orli come quelli magdeburgici (§. 600). Alla sommità dell'emisfero che serve di coperchio vi ha un foro circolare, al quale è applicato un tubo ripieno di mastice isolatore nel cui asse è ritenuto un filo di metallo, che termina esternamente in un globetto pure metallico ed all'interno tiene sospesa una sfera di metallo di diametro minore del recipiente. Nel centro del fondo dell'altro emisfero è del pari praticato un piccolo foro, che comunica col

(1) *Collezione ecc. succitata*, t. I, parte 2ª, pag. 166.
(2) *Elettricismo artificiale ecc.*, pag. 374.

canaletto fatto lungo l'asse d'un piede munito di chiave. Questo canaletto serve a vuotare il recipiente d'aria per introdurvi altri fluidi. La sfera è cava ed ha un piccolo foro per lasciare uscire l'aria, quando si vuota il recipiente. Vi ha in tal maniera fra la parete interna del recipiente e la sfera un intervallo, che ordinariamente è riempiuto d'aria, ma che vi si possono introdurre, come si disse, altri gas, come pure dei liquidi coibenti o dei solidi liquefatti, che si lasciano poscia riconsolidare, oppure che hanno di già la forma di quella capacità. Un altro apparato del tutto eguale al precedente è disposto pure per l'esperienza.

Si carichi d'elettricità la sfera di uno degli apparati: tosto compariranno per attuazione dei segni alla superficie esterna del recipiente quando sia isolato; che se è in comunicazione col suolo, l'elettricità attuata si disperderà in esso. È chiaro che quanto maggiore sarà il potere dielettrico del coibente, tanto più grande risulterà l'elettricità attuata sulla superficie esterna del recipiente e più piccola diverrà la tensione della carica della sfera attuante (§ 1273). Col piano di prova si tocchi il globetto e si misuri alla bilancia elettrica la tensione rimasta alla sfera interna. Si mettano poscia in comunicazione fra loro per breve istante le sfere dei due apparecchi e si esplori la tensione dell'uno e dell'altro. Se i due apparecchi sono in tutto identici, abbiano cioè anche per isolatore, interposto ai due corpi sferici, lo stesso coibente, si trova che le loro cariche non solo hanno egual tensione come è naturale, ma ciascuna è prossimamente la metà della totale mostrata da quello che venne previamente caricato. Difatti, essendo ambidue i recipienti pieni d'aria, Faraday ha trovato che la tensione di uno di essi era di 250, e dopo la comunicazione manifestarono rispettivamente ambidue le tensioni di 122 e 124, che equivalgono prossimamente alla metà 125 della totale.

Dopo somiglianti sperienze preliminari Faraday riempì uno degli apparecchi di gommalacca lasciando nell'altro l'aria, ed elettrizzata la sfera di quest'ultimo, ne trovò la tensione di 290 di cui 145 è la metà. Fatta la divisione, l'apparecchio ad aria ha dato 114 per la tensione della carica rimastagli e quello a gommalacca acquistò la tensione di 113. Le due tensioni sono presso che eguali, come devono essere per l'equilibrio nella comunicazione delle due sfere, ma ciascuna di esse è molto minore della metà 145. Bisogna dunque che la gommalacca, pel suo maggiore dielettricismo, maschera ed annulli di più la tensione e renda la sfera di maggiore capacità di quella circondata d'aria. L'apparato a gommalacca avrebbe dovuto avere la

tensione di 290—114=176, quando invece non ne ha manifestato che 113. Essendo riuscita minore la tensione di quella che sarebbe stata se il coibente fosse stato l'aria, si ricava che il potere dielettrico della gommalacca è maggiore di quello dell'aria. I poteri delle due materie devono seguire la ragione diretta di quei numeri, cioè, chiamando 1 il potere dielettrico dell'aria ed x quello della gommalacca, sarà $1 : x :: 113 : 176$, da cui si ricava $x = {}^{176}/_{113} = 1,56$. Per accertarsi poi del maggior potere dielettrico della gommalacca in confronto di quello dell'aria, Faraday ha istituito l'esperienza in ordine inverso, incominciando cioè a caricare l'apparecchio a gommalacca e, dopo averne presa la misura, dividerne la carica coll'altro apparecchio ad aria: in questa seconda maniera ha trovato che ciascuna delle due tensioni, necessariamente eguali, era molto maggiore della metà della carica totale. Operando con questo metodo e facendo le correzioni ed i compensi per la dispersione durante il tempo dell'esperimento, egli ha rinvenuto che, essendo 1 il potere dielettrico dell'aria, quello del solfo è 2,24, del vetro flinto 1,76, del bianco di balena 1,45, mentre la gommalacca, come si è veduto, l'ha espresso da 1,56. I liquidi migliori coibenti, come l'olio di trementina e la nafta purificata, hanno pure dato un potere dielettrico maggiore di quello dell'aria. Ciò che è rimarchevole si è che i gas hanno egual potere dielettrico specifico, anche sotto qualche differenza di pressione.

Il prof. Belli, quasi contemporaneamente, istituì alcune sperienze, le quali hanno intima relazione con quelle del fisico inglese. Le indagini di lui erano dirette a determinare la capacità per l'elettrico, che acquistava una lamina circolare di metallo affacciata ad un'altra simile in comunicazione col suolo, quando vi era interposto, come nei dischi coniugati, l'aria od altro corpo dielettrico (1). Egli ha trovato che, essendo 1 la capacità della lastra coll'intermedio dell'aria, otteneva 3,21 adoperando il solfo, 3,33 la gommalacca, 4,31 la ceralacca, e 7,83 il vetro. Quantunque questi risultati concordino nel riconoscere l'aria il peggiore dielettrico dei corpi sperimentati, tuttavolta il dielettricismo del vetro sarebbe secondo Belli molto maggiore di quello del solfo, cioè all'opposto di quanto è risultato a Faraday. I metodi dei due fisici sono molto differenti: il prof. Belli, adoperando corpi dielettrici di diversa grossezza e lamine di diverso diametro, ne calcolava poscia gli effetti riducendole alle stesse dimensioni all'appoggio di alcune leggi, che non si verificano in ogni

(1) Si vegga il vol. III, pag. 259 del suo *Corso elementare di fisica*, 1838.

caso a tutto rigore. Non poteva perciò ottenere risultamenti conformi a quelli di Faraday, il quale d'altra parte non metteva sempre lo spazio interposto ai due corpi sferici nelle stesse condizioni per diversi corpi dielettrici. Interesserebbe quindi, per la scienza e per le sue applicazioni, che si determinasse con un metodo uniforme il potere dielettrico specifico delle principali materie.

1289. Il differente potere dielettrico delle materie si dimostra nella scuola con un metodo più semplice. Si dispongano parallelamente l'uno all'altro i dischi coibentati A, B (fig. 287) e si prepari un terzo disco eguale che denomineremo C, il quale si elettrizza e si colloca fra i primi due. Questi dischi, sotto l'influenza dell'altro C, mostrano un'elettricità attuata coll'intermedio dell'aria. Se gli elettrometri siano in tutto eguali e i due dischi alla medesima distanza dall'attuante C, essi segneranno l'egual numero di gradi, per es. di tensione positiva quando C sia elettrizzato in più (§ 1272). Nel caso che gli strumenti segnino differente grado, si regolino le distanze in maniera d'avere l'eguale indicazione. Si mettano poscia i due dischi A, B in comunicazione col suolo, scaricandoli dell'elettrico in loro promosso dall'attuazione di C. Si trovano così allo stato negativo, che, tolta la comunicazione, resta dissimulato dalla presenza di C (§ 1285). Ora, se si avvicini maggiormente per es. A a C, si rialzano gli elettrometri di A, B, alterandosi, col cambiamento della distanza, l'attuazione prodotta sul disco A e quindi la tensione dell'attuante C, il quale per conseguenza reagisce sull'altro attuato B. Laonde, manifestandosi su A l'elettricità in più pel maggiore riavvicinamento, questa produce una diminuzione nello stato positivo di C, il quale contemporaneamente ad A produce per attuazione elettricità negativa su B. Questi stati elettrici si riconoscono in ogni caso coll'elettroscopio.

Si ritengano i due dischi A, B isolati ed allo stato negativo dissimulato dal disco attuante C, e si rammenti che, se colla diminuzione della distanza o in altra maniera si aumenti l'attuazione, per es. su A, questo mentre dà segni di elettricità in più l'altro disco B li dà in meno. Posto ciò, s'introducono successivamente fra il disco attuante C e l'attuato A delle grosse lamine di solfo, di ceralacca, di vetro e simili, le quali si sostituiscono così all'aria come corpo intermediario. Sperimentando in tal maniera si trova che l'elettrometro di A manifesta segni di elettricità positiva e quello di B negativa: il che prova essere il solfo, la ceralacca, il vetro ecc. mezzi dotati di maggior dielettricismo dell'aria. Gli strumenti devono essere molto sensibili, e questo metodo, convenientemente adoperato, potrebbe

servire alla determinazione dei giusti rapporti del potere dielettrico di parecchie materie in confronto di quello dell'aria preso per unità.

Le materie coibenti, che isolano i conduttori, ne fanno variare la tensione elettrica secondo il loro potere dielettrico. Si deduce dunque che la carica dipende non solo dalla grandezza delle superficie (§. 1257), dalla forma de' conduttori (§. 1263), dalla tensione (§. 1259), e dalla distanza di corpi deferenti e del suolo (§. 1273); ma ben anche dal potere dielettrico dell'aria e degli altri isolatori, su cui il corpo elettrizzato riposa o ne è circondato. Avanti di lasciare queste indagini dobbiamo fare un'altra osservazione: tenendo caricata per un certo tempo la sfera interna dell'apparato del precedente paragrafo e poscia scaricandola riducendone a zero la tensione, si trova che questa poscia ricomparisce. Sembrerebbe quindi che la carica elettrica non si limiti soltanto alle superficie metalliche, ma diventi propria delle superficie e dell'interno della massa dei corpi dielettrici.

1290. Le dottrine sull'attuazione elettrica ci mettono in grado di analizzare il fenomeno della scarica attraverso all'aria, prima che il conduttore elettrizzato sia toccato dal deferente pel quale si opera (§. 1235). Allorquando al conduttore elettrizzato si accosta l'eccitatore o qualunque altro deferente, questo si mette in istato elettrico opposto, mentre nel conduttore si aumenta la tensione verso i punti affacciati e resta in parte dissimulata negli altri (§. 1273). La tensione in quei punti si fa sempre più grande a misura che l'intervallo fra i due corpi scema; finchè ad una certa distanza diventa tale da vincere la coibenza dell'aria e dar luogo alla formazione del torrente elettrico, che ristabilisce l'equilibrio colla scarica sotto forma di scintilla. In generale *non vi ha mai scarica elettrica senza che le parti più vicine, dei corpi fra le quali succede, si mettano in istato elettrico opposto*. Se l'eccitatore è un buon deferente, per es. un metallo, lo stato elettrico opposto si opera lungo tutto il corpo. In questo caso la scarica è quasi totale ed avviene a maggior distanza sotto forma di brillante e fragorosa scintilla; che se è cattivo deferente, per es. un bastone di legno verde o un cilindro di carbone, lo stato elettrico opposto non si opera compiutamente, la scarica è parziale e la scintilla minore.

La distanza, cui ha luogo la scarica, risulta, secondo le sperienze di Volta confermate da quelle d'Harris, in ragion diretta della tensione, ed è inoltre nell'inversa della conducibilità del corpo con cui viene provocata. Siccome la conducibilità si suole rappresentare colla

lunghezza del filo d'un dato metallo di diametro parimente dato; così la distanza della scarica è in generale espressa dalla formola $\frac{T}{L}$, dove T è la tensione ed L la lunghezza del dato filo, il quale rappresenta la resistenza al passaggio del corpo con cui si provoca la scarica. Allorquando allo scaricatore è congiunto o posto a poca distanza un altro deferente, può aver luogo la *scarica laterale*, di cui ci occupiamo più avanti. Le machine elettriche danno le scariche a più o meno distanza secondo la grandezza del corpo stropicciato e la loro migliore costruzione. La machina che dia la scintilla alla distanza di centimetri 12 ha già una ragguardevole forza. Ve ne sono di quelle che la lanciano alla distanza di 25, di 40 ed anche nei tempi favorevoli sino a 60 centimetri, come è quella di Harlem su mentovata. Alcune machine danno delle scintille più allungate, ma più lente; mentre altre lanciano un torrente elettrico più compatto. Questa differenza dipende dalla lunghezza del conduttore, per cui l'elettrico dell'opposta estremità non giunge contemporaneamente allo scaricatore e rende la scintilla più allungata. Le scintille riescono di maggiore lunghezza, quando si estraggono dall'estremità del conduttore opposta al disco; ed ancor più lunghe se a quell'estremità il conduttore ha unito un tubo di minor diametro terminato in picciolo globo (fig. 298); e ciò per la ragione che in ogni caso si aumenta la tensione (§. 1265). Dai conduttori coperti di sostanze carbonose si hanno scintille più lunghe (1), in causa delle ineguaglianze, che danno alla superficie.

1291. Si crede generalmente che, nella carica in più e secondo i dualisti in ambidue gli stati, sia l'elettrico ritenuto sui conduttori in virtù della pressione dell'aria, e che quando questa è superata dalla tensione succeda la scarica. Il calcolo però dimostra che la pressione dell'aria sopra una data superficie è in ogni circostanza di molto superiore alla tensione elettrica del corpo caricato. Il fenomeno secondo noi dipende dalla coibenza dell'aria e dalla facoltà ripulsiva che acquista il suo elettrico naturale equilibrato per l'attuazione. Nell'aria rarefatta le scintille, a pari tensione, avvengono bensì a maggiori distanze; ma ciò prova soltanto che nella rarefazione diminuisce la facoltà ripulsiva dell'elettrico naturale equilibrato.

1292. La scarica ad una data distanza si può avere secondo le

(1) Quest'osservazione è del prof. Marianini negli *Annali delle scienze del regno Lombardo-Veneto*, vol. del 1831, pag. 165.

circostanze a minor tensione pei conduttori caricati in difetto che per quelli in eccesso di elettrico e viceversa. Può accadere infatti che il conduttore, in virtù dell'attrazione della materia per l'elettrico esercitata direttamente su quello delle molecole aeree più vicine, si trovi, nel primo caso, in istato di prendere loro più facilmente del fluido naturale che, nel secondo, comunicarne ad esse del nuovo in causa dell'azione ripulsiva, giacchè per la coibenza l'elettrico non può transitare per l'aria da molecola a molecola e mettere le prime in situazione di riceverne dal conduttore su cui sovrabbonda, se non quando la tensione attuata nelle molecole aeree poste verso il suolo, sia giunta al punto da versare l'elettrico sul corpo deferente e promuovere la scarica. In generale questa ha origine da quel lato, dove la tensione elettrica giunge più facilmente a vincere la facoltà coibente dell'aria ed a squilibrarne l'elettrico naturale dando o togliendo a questa del suo fluido naturale.

Le precedenti considerazioni spiegano la seguente sperienza (1): due conduttori posti sopra piede isolatore, quello a destra A e il sinistro B (fig. 299), sono lupartiti con un ramo terminato in una palla e coll'altro in globettino o smussato. Sono essi accoppiati in guisa che la palla dell'uno si trovi a poca distanza dal globettino dell'altro, essendo B in esatta comunicazione col suolo ed A con una sorgente d'elettricità, per es. col conduttore della machina. Comunicando ad A l'elettricità positiva, si vedono le scariche succedersi sotto forma di scintilla fra la palla di A isolata e il globettino di B; quando invece è l'elettricità negativa, le scintille balenano dal globettino di A isolato e la palla di B. Da questo si apprende che le scariche del l'elettricità positiva succedono a minore tensione quando il torrente passa da un corpo isolato di gran diametro sopra un altro di piccolo diametro in comunicazione col suolo, e viceversa le scariche dell'elettricità negativa avvengono più facilmente quando l'elettrico è diretto da un corpo in comunicazione col suolo di gran diametro nell'altro di piccolo diametro isolato; vale a dire che la direzione del fluido, per cui ha luogo la scintilla, è sempre dal corpo di maggior verso quello di minor diametro. Fra due eguali globi, l'uno elettrizzato e l'altro in comunicazione col suolo, la scintilla balena ad egual tensione per le due elettricità. Quasi contemporaneamente, le precedenti sperienze furono istituite da Faraday coll'eguale risultato di Belli. I

(1) Si vegga la Memoria di Belli sulla dispersione delle due elettricità nel giornale la *Biblioteca Italiana*, t. LXXXVI, 1837.

conduttori isolati terminano in corpi rotondati, dove le molecole d'aria da cui sono circondati possono considerarsi come altrettanti punti che tolgono loro lo stato elettrico; ed è per ciò che sui medesimi l'elettricità negativa si dissipa più prontamente della positiva (§. 1267). Questi fenomeni difficilmente si spiegano col sistema dei dualisti.

1293. Nella teorica d'un sol fluido il torrente elettrico per la scarica deve necessariamente andare dal corpo che ne è in eccesso verso quello in difetto. Ma la rapidità, con cui transita pel piccolo intervallo interposto ai due corpi, è così enormemente grande che l'occhio il più attento non s'accorge se la massa elettrica luminosa esca dal corpo positivo o negativo. Il fenomeno della luce sulle punte, il quale differisce per le due elettricità (§. 1224), è un forte argomento per indurci a credere che il torrente elettrico deve camminare dal corpo elettrizzato in più verso quello che lo è in meno. Tuttavolta vi è stato qualcheduno che, esaminando la scarica in altro apparato elettrico, ha preso un'illusione ottica per la realtà. Per confermare la verità, d'altronde già dimostrata dalle punte, ho istituito la seguente sperienza (1): disposi i due conduttori isolati della machina elettrica a cilindro (§. 1231) o di quella a disco (§. 1230) in guisa che il globetto, in cui termina il primo, sia a rincontro con altro globetto eguale in congiunzione col secondo, esaminando la scintilla che balena fra essi a differenti distanze. Allorquando l'intervallo è di pochi millimetri, le apparenze sono come segue: sul globetto negativo comparisce un punto luminoso assai distinto ed altro meno pronunciato sul positivo; tra l'uno e l'altro poi una tinta oscura di colore violaceo. Aumentando l'intervallo fra i due globetti, la parte luminosa negativa si divide in due porzioni, che riescono tanto più distinte quanto più si allontanano l'uno dall'altro i globetti. Allontanandoli ancor più, la parte luminosa del conduttore negativo si avvicina a quello del positivo, e finiscono per congiungersi assieme. In questo caso non rimane più che una luce assai debole dal lato negativo, mentre da quello positivo si manifesta una luce assai intensa. A maggiore distanza le scintille si succedono con interruzione ed hanno tale rapidità che riesce difficile ad accorgersi da qual lato derivano.

Alla distanza di pochi millimetri, 3 in 4 secondo la forza della machina, l'elettrico uscendo dal conduttore positivo tende a farsi strada per la linea, che unisce gli assi dei due conduttori, uscendo

(1) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. xiii, pag. 121, e t. xxii, pag. 173.

dal punto centrale della superficie del globetto e rientrando pel punto corrispondente della superficie dell'altro globetto, nei quali punti è maggiore l'attuazione. Siccome poi nell'assorbimento si dirige verso il centro della superficie come più elettro-negativo, e nell'emissione si sparpaglia all'intorno per l'aria; così la luce elettrica sul punto rientrante riesce più distinta di quella al punto uscente. A misura che l'intervallo fra i globetti aumenta, l'attuazione dell'uno sull'altro si allarga in maggiore spazio secondo l'inversa del quadrato delle distanze, e i punti laterali a quello centrale divengono quindi abbastanza energici per attrarre verso di loro porzione del torrente elettrico, ne nasce quindi la divisione della luce rientrante nel globetto negativo. Aumentando ancor più l'intervallo, il torrente elettrico incontra maggior difficoltà a farsi strada per l'aria intermedia in virtù della minore attuazione dalla parte opposta, per cui s'allarga dal lato positivo. Un nuovo accrescimento dell'intervallo rende la difficoltà al passaggio ancor più grande e l'addensamento dell'elettrico si mostra maggiore sul globetto positivo con una luce più brillante, mentre giunge al globetto negativo diradato e l'invade per ogni parte. La distanza perviene alfine ad un punto in cui il torrente si scaglia ad intervalli di tempo fra l'uno e l'altro globetto, comparisce la scintilla in tutta la sua pienezza e solca l'aria interposta con velocità prodigiosa in modo da non riconoscere da qual lato essa provenga.

1294. Il volume e la grandezza della scintilla apparisce nei casi ordinari assai considerabile; ma quest'apparenza sembra che dipenda da illusione ottica, riflettendo, come vedremo, che il torrente elettrico si fa strada attraverso un solido coibente e vi lascia la traccia di un piccolissimo foro per dove passa a stento la punta d'uno spilletto.

Allorquando la scarica ha luogo ad una certa distanza, la scintilla percorre in diverse circostanze, non un cammino rettilineo, ma una linea spezzata ed a ghirigoro. Quest'andamento tortuoso si attribuisce da alcuni fisici ad un accrescimento di densità dell'aria intermedia prodotta dal torrente elettrico, il quale è per ciò obbligato a deviare dal suo cammino ed a ripiegarsi lateralmente. Altri lo vogliono far dipendere eziandio da materie esilissime vaganti nell'aria dotate di un certo grado di conducibilità. Sembra però che vi abbia grande influenza oltre la forma del conduttore, quella dello scaricatore e la posizione con cui si presenta al conduttore medesimo, e ciò in causa dello stato elettrico opposto che prendono per attuazione le diverse

parti. Beccaria infatti (1) otteneva in una maniera facile l'andamento tortuoso della scintilla, estraendola dal conduttore caricato coll'aggiunta al disotto d'un cilindretto e presentandovi lo scaricatore come mostra la fig. 300. Lo stesso avviene della scintilla che si cava coll'eccitatore nella posizione rappresentata dalla fig. 298. Dalla grande machina d'Harlem si hanno delle scintille ramificate, tratte dal conduttore colla presenza d'un globo in comunicazione col suolo e di diametro maggiore del conduttore medesimo. La direzione della scarica vedesi appunto variata nelle figure 301, 302 e 303, dipendentemente dalla forma del conduttore e dalla posizione che si dà allo scaricatore rispetto al conduttore medesimo.

1295. La scarica per scintillazione è accompagnata da una specie di scoppiettio o da un romore più o meno grande, che varia secondo la tensione e secondo lo stato dell'atmosfera. Il fenomeno dipende dall'urto dell'aria che si getta violentemente negli spazii, donde è stata rimossa dal torrente elettrico. In questi movimenti quel fluido concepisce delle vibrazioni, per le quali hanno nascimento le onde sonore, da cui si genera il rumore in discorso. Abbiamo già una prova del suono rumoroso prodotto dall'aria nel gettarsi violentemente in uno spazio, dove sia stata rarefatta colla machina pneumatica (§. 596). Le scintille, che si ottengono nelle scariche, sono accompagnate da luce, di cui c'intratterremo parlando degli effetti de l'elettrico.

1296. Sull'attuazione sono altresì fondati alcuni apparecchi importanti per lo studio dell'elettricità. Si è veduto che un conduttore isolato, in presenza di un altro in comunicazione col suolo aumenta la sua capacità per l'elettrico (§. 1273). All'appoggio di questo principio Volta ha imaginato il *condensatore*, strumento molto prezioso per le indagini elettriche, in quanto che col suo aiuto si giunge a riconoscere le debolissime elettricità, di cui gli elettroscopii i più delicati non mostrano l'esistenza.

Il condensatore, quale si costruisce oggidì, è formato del disco metallico C del diametro di 8 ed anche di 10 e più centimetri (fig. 304), il quale ha infisso nel suo centro il manico *pq* di vetro verniciato o di altra materia coibente. La faccia opposta del disco, ben liscia e polita, è coperta d'un sottile strato di ceralacca, per la quale si sovrappone ad altro disco eguale P, coperto pure di sottile strato di vernice e collocato sopra il piede isolatore *mn*. Il disco C, che appellasi il *piatto collettore* o semplicemente *collettore* dello strumento,

(1) *Elettricismo artificiale ecc.*, pag. 219

tiene congiunto un filo metallico ps, che si prolunga all'infuori e termina in rotondo.

Volendo far uso dello strumento per esplorare lo stato elettrico di qualche corpo a tensione sì debole che non riesca sensibile agli elettrometri, si mette questo a contatto col collettore nel medesimo tempo che si fa comunicare il disco attuante P col suolo toccandolo con un dito inumidito. È chiaro che il collettore C, per la grande vicinanza del disco P, aumenta di molto la sua capacità per l'elettrico e prende quindi dal corpo a contatto una dose di fluido maggiore di quella, di cui s'impossesserebbe se fosse isolato nell'aria. Fatto ciò, si allontani il corpo, si tolga la comunicazione col suolo del disco attuante P e infine si sollevi il collettore per mezzo del suo manico portandolo coll'estremità s sul cappello dell'elettrometro. Lo strumento colla divergenza dei pendolini darà tosto indizio d'elettricità, che prima non si mostrava nel corpo posto direttamente a contatto col medesimo. Il collettore sotto l'attuazione di P teneva dissimulata gran parte dell'elettricità, che si manifesta poscia, tolto a quell'influenza, con una tensione maggiore all'elettrometro.

La condizione essenziale per un buon condensatore si è che i due piattelli d'ottone o di rame abbiano le superficie di combaciamento ben appianate ed eguali, al quale scopo si sogliono smerigliare l'una contro l'altra. Intonacando le superficie con istrato ancor più sottile di vernice coibente, lo strumento acquista in facoltà condensante e diventa atto a riconoscere degli strati elettrici debolissimi. Lo strato coibente può essere fatto con vernice coppale, oppure di lacca od ambra in modo che i due piattelli non siano fra loro a contatto metallico. Per mostrare la grande sensibilità dello strumento di Volta, s'istituisca la seguente sperienza: mediante una pelle di gatto si batta strisciando sul collettore, tenuto sul piatto attuante in comunicazione col suolo, poscia colle debite cautele si esplori la tensione elettrica del collettore levandolo dal piatto attuante, che si troverà dar segni manifesti all'elettrometro a pagliuzze od a foglietta.

Per rendere più comodo e vantaggioso l'uso del condensatore, Volta l'ha unito al suo elettrometro, con cui si ha l'*elettrometro condensatore* (fig. 305). Il collettore resta al disotto portato dalla verghetta cui sono appese le pagliuzze, e il piatto attuante al disopra, che si solleva prendendolo pel manico e si rende così all'elettrico del collettore tutta la tensione di cui è suscettibile e dà tosto indizio colla divergenza delle pagliuzze. Giova d'avvertire di non istregare nell'uso il collettore sul disco attuante, per non dar luogo ad elettricità estra-

nea; come pure di disgiungere i due dischi tenendoli colle superficie parallele, onde non far nascere una dispersione per l'ineguaglianza d'attuazione nel piattello. Belli ha interposto ai due piattelli del condensatore un sottilissimo strato d'aria, che fa le veci della vernice tenendo separati i piattelli con tre goccie di ceralacca (1), e Peclet ha fatto alcune aggiunte all'elettrometro condensatore per aumentarne la sensibilità (2), ma con ciò gli è tolta la sua semplicità così comoda nella pratica.

1297. Volta si è occupato a determinare il grado di condensazione del suo strumento, ossia quanto aumenti la capacità del collettore sotto l'influenza del piatto attuante. Ecco il metodo seguito da lui in questa valutazione (3), che renderemo più chiaro con un esempio. Si comunichi al collettore una dose d'elettrico tale che faccia divergere le pagliuzze dell'elettrometro di 10° sotto l'azione del piatto attuante. Sottratto poscia a quest'azione, la capacità del collettore diminuisce di tanto quanto era stata accresciuta, e per questa diminuzione tutto l'elettrico spiegherà la sua azione ed aumenterà la tensione. Si abbia preparato un conduttore isolato guarnito d'elettrometro a quadrante, i cui gradi abbiano un rapporto conosciuto con quelli dell'elettrometro a pagliuzze. Sia nota altresì la capacità di questo conduttore relativamente al collettore nel suo stato ordinario, la quale si supponga nel nostro caso il triplo. Si metta il collettore in comunicazione col conduttore, su cui, al momento che si allontana il piatto attuante, si dispiegherà una tensione, che sarà $^1/_4$ di quella, che avrebbe indicato lo stesso elettrometro a quadrante sul collettore, quando tutto l'elettrico fosse in esso rimasto, poichè la stessa carica di fluido si diffonde sopra la capacità 3+1 cioè quadrupla. Volta trovò che l'elettrometro a quadrante del conduttore indicava 30° di tensione; per cui la tensione della stessa quantità d'elettrico tutta accumulata sul collettore avrebbe prodotto la tensione di $4 \times 30° = 120°$ dell'elettrometro a quadrante, ossia di 1200° di quello a pagliuzze, giacchè il rapporto di ciascun grado dei due elettrometri adoperati da Volta era di 10 : 1. Siccome poi il collettore sotto l'influenza del piatto attuante non aveva che 10° dello stesso elettrometro a pagliuzze, così l'intensità dell'elettrico per l'attuazione risultava di 120 volte di quella senza l'attuazione. Dunque l'istromento adoperato da Volta

(1) *Annali di fisica*, ecc. più volte citat., t. xi, pag. 180.
(2) Si vegga lo stesso tomo degli *Annali*, pag. 39.
(3) *Collezione delle opere di Volta*, t. i, parte 2ª, pag. 54.

nella riferita sperienza aveva 120 pel grado di condensazione.

Sia t la tensione nel collettore sotto l'influenza del piatto attuante, e T quella che manifesterebbe senza l'attuazione, ed inoltre n il rapporto fra la quantità d'elettrico comunicato al collettore e quella dissimulata per l'attuazione, si trova coll'analisi matematica l'equazione $\frac{T}{t}=\frac{1}{1-n^2}$. Laonde se di 100 gradi d'elettrico nel collettore, 99 fossero dissimulati per l'attuazione, sarebbe $n=\frac{99}{100}$, e quindi risulterebbe $\frac{T}{t}=\frac{10000}{199}$, cioè prossimamente $\frac{T}{t}=50$. Sarebbe quindi in questo caso la facoltà condensatrice dello strumento di 50. Per far uso dell'equazione bisogna determinare la frazione n. A tal fine s'isola lo strumento e si elettrizza il collettore, avvertendo di toccare il piatto attuante durante la carica: si disgiungono poscia i due piattelli, e si esplora col piano di prova e colla bilancia elettrica la tensione che ambidue rispettivamente manifestano in punti omologamente situati, per es. sulla loro circonferenza. Siccome i due dischi metallici sono della stessa grandezza; così le tensioni determinate in tal modo riusciranno proporzionali alle cariche e daranno il rapporto n richiesto (1).

Nicholson, Cigna, Bennet, Cavallo ed altri fisici hanno imaginato degli strumenti condensatori fondati sullo stesso principio, e conosciuti sotto i nomi di *duplicatore*, di *moltiplicatore*, di *collettore*; ma nelle indagini della scienza è generalmente adoperato per la sua semplicità quello di Volta.

1298. Sullo stesso principio del condensatore è fondato un altro apparecchio inventato pure dal celebre fisico italiano, ed è l'*elettroforo di Volta* detto eziandio *elettroforo perpetuo*, perchè una volta che si è caricato si può ottenerne per molto tempo la scintilla e gli altri segni elettrici. Esso è formato del disco metallico *ab*, i cui orli sono rotondati e rilevati in modo da contenere una stiacciata della grossezza di qualche millimetro, composta di tre parti in peso di trementina, 2 di ragia ed 1 di cera bollite assieme per qualche ora, aggiungendovi un poco di minio, onde dare al composto il bel colore vermiglio (fig. 306). L'altro disco C d'ottone ha il diametro minore di quello della stiacciata di qualche centimetro, e chiamasi lo *scudo dell'elettroforo*, mentre quello della stiacciata è denominato il *piatto*. Lo scudo è munito d'un manico di vetro ed è appeso a tre cordoncini

(1) Vedi Biot *Traité de physique* etc. t. II, pag. 364.

di seta verniciata, con cui si tiene isolato nel porlo a contatto e nel sollevarlo dalla stiacciata.

Si stropiccia leggermente con una coda di gatto o di lepre la stiacciata, e prendendo pel manico o pei cordoncini lo scudo, si colloca leggermente sulla medesima. In tale posizione, se con un arco conduttore si mette in comunicazione il piatto collo scudo, ne balena una scintilla più o meno forte secondo la grandezza dello strumento e secondo che il tempo è più o meno favorevole. Sollevando lo scudo coi cordoncini, si ottiene da esso un'altra scintilla. Se si rimette sulla stiacciata lo scudo e poscia si solleva, si ha nei due casi la scintilla, e così il fenomeno si può ripetere centinaia e centinaia di volte senza bisogno di elettrizzare di nuovo la stiacciata. Nel primo caso lo scudo è elettrizzato negativamente e nel secondo positivamente: in tal maniera l'elettroforo somministra a piacimento l'una e l'altra elettricità. Si può sostituire alla resina la carta e si ha pure un elettroforo energico (1).

La superficie resinosa stropicciata colla pelle di gatto o di lepre si elettrizza in difetto (§ 1227), per cui lo scudo, separato dalla stiacciata da un esilissimo strato d'aria, rimane elettrizzato per attuazione pure in difetto. Laonde si ha la scintilla pel torrente elettrico diretto dal piatto e dal suolo sullo scudo. Quest'ultimo viene ad avere con ciò maggior dose d'elettrico del suo stato naturale, e diventa così carico in più. Il suo stato elettrico è dissimulato da quello opposto della stiacciata, e rimane libero soltanto e si manifesta colla scintilla quando si solleva lo scudo e si sottrae all'influenza della superficie resinosa.

1299. Vi sono degli apparati dipendenti dallo stesso principio, coi quali si dà una grande capacità a superficie metalliche di non molta estensione, e si producono degli effetti energici e sorprendenti. Essi hanno differente forma e prendono come vedremo nomi particolari, che tutti si comprendono sotto quello generale di *lamine coibenti armate*. Il primo effetto di questi potenti apparecchi si provò in Leida con una lamina di vetro configurata alla foggia di boccia, e che venne per ciò chiamata *boccia di Leida* o *boccia elettrica*.

Cuneus, e secondo altri Musschenbroek, versò in una boccia di vetro dell'acqua, per esaminare quali effetti provava nell'elettrizzarla. Egli teneva la boccia colla mano, mentre una catenella metallica immersa per un'estremità nel liquido era coll'altra a contatto del con-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, seconda serie, t. III, pag. 75

duttore della machina. Al momento che volle levare la catenella, prendendola coll'altra mano, provò nelle braccia una commozione forte e subitanea, che lo colpì di sorpresa e di terrore. È da questo avvenimento che ebbero origine tutti gli apparati costrutti con lamine coibenti armate, unitamente alla boccia di Leida, la quale, come vedesi, prese il nome dal luogo dove nacque. Tanto l'uno quanto l'altro dei fisici nominati sono Olandesi, e la scoperta venne fatta in quella città nel volgere dell'anno 1745 Alla comparsa della boccia di Leida si sperimentò con vasi di solfo, di resina e di altre simili materie coibenti, che si empivano d'acqua In quei primi tentativi, non guidati da alcun principio teorico si operava all'azzardo, e non si ottennero effetti corrispondenti con vasi formati di pareti molto grosse

1300. L'apparato di Leida, quale si costruisce oggidì, consiste in una boccia B, cui internamente ed esternamente sono applicate con colla o con soluzione di gomma delle foglie di stagnuola, che la rivestono interamente fino alla distanza di 5 e più centimetri dal collo, il quale, unitamente alla porzione lasciata nuda, è coperto di vernice coibente (fig. 307) Le bocce, che in causa dell'angustia del loro collo non permettono di operare nell'interno per applicarvi la foglia di stagno, si rivestono di dentro con minuzzoli di metallo, come limatura di rame, attaccati colle stesse materie. È chiusa da un tappo di sovero pure verniciato nel cui asse passa una verghetta cilindrica d'ottone *g* della grossezza almeno di 3 millimetri, la quale internamente tiene congiunto qualche filo o catenella di metallo che comunica colle pareti e col fondo della boccia pure coperto di stagnuola. Esternamente la verghetta è d'ordinario incurvata e termina in un globetto, che chiamasi il *bottone* o il *gancio* della boccia, ed alle volte sorge diritta e termina pure in globetto (fig 308, L'apparato di Leida ha eziandio la forma di barattolo di vetro, chiamandosi in tal caso *giara elettrica* (fig. 309 Le migliori bocce di Leida sono quelle a collo molto lungo, che costruisce il meccanico Jest di Torino (fig 310), e che a pari superficie, per le ragioni che vedremo, danno degli effetti più intensi degli altri apparati di simil genere

Un'altra lamina coibente armata è il *quadro magico* o *quadro di Franklin*, detto anche *quadro elettrico*, il quale consiste in una lastra sottile di vetro di figura rettangolare più o meno grande posta in cornice di legno come i quadri comuni Ambedue le facce sono rivestite di foglie di stagnuola di figura simile e un poco meno grande della lastra in modo da rimanere all'intorno del lembo una zona della larghezza di 6 in 8 centimetri. Questa zona è quasi per intero

intonacata in ambedue le facce di ceralacca o di altra vernice resinosa. Le foglie di stagnuola, tanto nella boccia di Leida e nella giara, come nel quadro magico, si chiamano *armature*; talchè nei primi due apparati vi ha l'*armatura interna* e l'*armatura esterna*, e nell'altro l'*armatura anteriore* e l'*armatura posteriore* Coll'armatura posteriore del quadro magico si congiunge una lista di stagnuola della larghezza di 5 in 6 centimetri, la quale si ripiega sull'orlo della lastra di vetro e si applica per circa 2 centimetri sulla faccia anteriore.

1301. Una delle armature dell'apparecchio si unisce al conduttore della machina elettrica, mentre l'altra comunica col suolo: la prima si metterà allo stato elettrico prodotto dalla machina e la seconda allo stato opposto il quale dissimulerà buona porzione dell'elettricità dell'altra ed aumenterà grandemente la capacità della foglia metallica (§. 1283) La quantità d'elettricità dissimulata e quindi la capacità cresce quanto più è sottile la lamina coibente, ossia quanto più piccolo è l'intervallo, che separa le due armature (§. 1272). Le bocce di Leida, le giare elettriche e i quadri magici saranno quindi tanto più atti a maggiori cariche per la stessa tensione: quanto più sono fatti di sottili lamine di vetro, scevre di bolle e di pori, che potessero lasciare qualche comunicazione fra le due armature e così impedire che si mettessero in istato elettrico opposto. Le lamine di mica o di talco, che si traggono dalla Russia, si prestano egregiamente, per la loro sottigliezza, alla costruzione degli apparati elettrici di cui è discorso La loro grossezza è di poco più di mezzo millimetro, e per ciò riesce grande l'attuazione. Per la sottigliezza del vetro, sono molto proprie alla costruzione delle bocce di Leida le ampolle da speziale. Qualunque sia la lamina coibente importa che sia di grossezza uniforme in tutta l'estensione occupata dalle armature, affinchè l'attuazione sia eguale in ogni parte e non si eserciti di più in pochi punti col pericolo, nelle grandi cariche, di produrne la rottura.

Continuando ad elettrizzare la lamina armata disposta nel modo indicato, se il tempo è favorevole, si sente uno scoppiettio verso i lembi delle armature, il quale è prodotto da fluido elettrico, che con isforzo si propaga sulla parte nuda della lamina per mettersi in equilibrio e sembra annunziarne la vicina rottura Per evitare queste scariche spontanee dell'apparato quando lo stato elettrico è giunto ad una certa tensione, è necessario che le due armature siano perfettamente segregate od isolate l'una dall'altra, ed è per ciò che bisogna aver cura di togliere qualunque umidità che si depositasse sulla

vernice o sul vetro che separa le armature medesime. Quanto più è grande l'intervallo da cui queste sono separate, tanto meno facile riesce la dispersione della carica pel passaggio dell'elettrico. Ecco quindi la ragione del buon effetto delle bocce di Leida a lungo collo che, come si disse, sono fabbricate dal meccanico Jest di Torino.

Volta ha trovato che una lamina coibente armata, principalmente se è configurata in boccia, si può caricare alla tensione di 10 in 12 e sin 14 e 16 gradi del suo elettrometro fondamentale (§. 1255), secondo la forza della machina e secondo il tempo più o meno favorevole alle sperienze elettriche. Con machine molto energiche si porta la carica più in là; ma verso i 20° di tensione la lamina si scarica da sè e talvolta anche prima. Colla grande machina di Harlem basta qualche giro dei dischi per produrre la scarica spontanea in parecchie bocce di Leida, che si elettrizzano ad un tempo colla medesima. La scarica spontanea è accompagnata da violento scoppio e da viva luce.

1302. Dalla dottrina dell'attuazione emerge di già che la superficie metallica, applicata alla lamina coibente armata, che si elettrizza nella maniera insegnata, acquista una grande capacità in confronto di quella, di cui essa sarebbe dotata se venisse isolata nello spazio in mezzo all'aria. Ma per accertarsi di questo aumento di capacità, si abbia disposto un conduttore isolato d'eguale superficie dell'armatura della lamina coibente, come sarebbe un globo che avrebbe anche eguale capacità (§. 1262), e si mettano successivamente questi due corpi in comunicazione col conduttore della machina elettrica. Si trova che, se basta qualche rivoluzione del disco per portare il pendolo dell'elettrometro ad un dato grado quando si carica il globo, se ne richiede un numero molto maggiore per farlo ascendere all'egual punto quando si carica la lamina armata. Siccome l'elettrico che si sviluppa è prossimamente proporzionale al numero delle rivoluzioni del disco; così la lamina coibente armata ha maggiore capacità.

Volendo valutare la capacità d'una lamina coibente armata si abbia una sfera od un cilindro isolato: si tocchi con questo conduttore l'armatura elettrizzata, si ritiri poscia e si scarichi; si metta di nuovo a contatto, si ritiri e si scarichi. Dal numero dei toccamenti, necessarii per ridurre in tal maniera la lamina allo stato naturale, si giudicherà con approssimazione della sua capacità. Con esperimenti consimili Volta ha rinvenuto che una sottile lamina di vetro, di decimetri quadrati 10,56 d'armatura (1 piede quadrato), ha una capa-

cità maggiore d'un conduttore cilindrico della lunghezza di 292 metri e del diametro di centimetri 2,7 (1).

Allo scopo di valutare l'aumento di capacità si presta opportunamente l'esperienza che segue istituita coi dischi coniugati (fig. 287), o meglio coll'apparato equivalente rappresentato in sezione colla fig. 311. Sul sostegno isolatore P è piantata la lamina di vetro AB fornita delle armature *ab*, *cd*, a ciascuna delle quali è applicato un elettrometro a quadrante dotato di abbastanza sensibilità. Caricandosi l'armatura anteriore *ab* per es. a 25°, s'innalzerà per attuazione anche l'elettrometro della posteriore *cd*, segnando qualche cosa meno per es. 24°. Mettendo in comunicazione col suolo quest'armatura il suo elettrometro cadrà a zero, e il suo stato negativo per es. se l'elettricità attuata era positiva, sarà dissimulato da quello opposto dell'armatura anteriore, di cui si è abbassato notabilmente l'elettrometro dovendo segnare nel nostro caso 1°,96 non tenendo conto della dispersione, che si corregge nei modi insegnati (§ 1266). Infatti se 25° di elettricità positiva ne dissimula 24° di negativa dell'armatura posteriore, questi 24 per l'azione reciproca ne occulteranno x gradi di positiva, cioè sarà $25 : 24 = 24 : x = 23,04$, e per ciò ne rimarranno soltanto 1°,96 di sensibile all'elettrometro. Dunque la capacità è stata accresciuta nel rapporto di 1,96 : 25 per essere eguale la carica (§ 1239), ossia l'armatura è divenuta 12,755 volte più capace di prima, vale a dire che caricata ancora a 25° sotto l'attuazione, questi gradi diverrebbero, levando l'armatura posteriore, quasi 319°.

Io soglio valutare la capacità d'una lamina coibente armata, per es. una boccia di Leida, col seguente metodo. Stabilisco per unità di capacità una sfera del diametro di 1 decimetro, che elettrizzo ad una data tensione dell'elettrometro e determino la dispersione che nella giornata dell'esperienza si fa per l'aria e per gl'isolatori. Istituisco l'egual prova per la boccia di Leida carica all'egual tensione. Di contro al bottone della boccia colloco a data distanza un globetto di metallo in comunicazione coll'armatura esterna e col suolo (fig. 312). Sospesa al filo di seta ed al piede isolatore, applico poscia fra i due globetti la pallina del pendolo elettrico (fig. 276), la quale sarà attratta dal bottone della boccia, elettrizzata e poscia ripulsa contro l'altro globetto, dove si scaricherà per essere di nuovo attratta e produrre una nuova scarica. Conto il numero delle oscillazioni del pendolo o il numero delle volte, di cui ha dovuto caricarsi e successiva-

(1) *Collezione delle opere di Volta*, t. I, parte 1ª, pag. 241.

mente scaricarsi la pallina di sambuco per diminuire di un dato grado la tensione della boccia (fig. 312), e questo numero sarà proporzionale alla carica elettrica dell'apparato. Lo stesso faccio della sfera stabilita per unità di capacità. Fatte le necessarie correzioni per la dispersione, divido il primo numero delle oscillazioni pel secondo, e il quoziente esprime con molta approssimazione in tante delle dette unità la capacità della boccia di Leida proposta. In generale si trova che la carica d'una lamina coibente armata è indipendente dalla tensione per ambidue gli stati elettrici, e che la capacità per lamine della stessa materia, segue prossimamente la ragion diretta dell'armatura e l'inversa della grossezza della lamina.

Nelle lamine coibenti armate si ha dunque un mezzo facile per avere delle grandi capacità per l'elettrico con piccole superficie e quindi di ottenere degli effetti molto più potenti di quelli che si conseguiscono cogli ordinari conduttori.

All'appoggio di tale principio il prof. Cazzaniga ha cercato di aumentare la capacità del conduttore della machina elettrica con due dischi affacciati a somiglianza di quelli coniugati, l'uno dei quali è in comunicazione col conduttore medesimo e l'altro coi cuscinetti (1). Epino (2), nei primordi della scienza aveva imaginato una disposizione somigliante, che ora si può ottenere comodamente colla boccia di Leida, la quale presenta maggiore capacità per la stessa superficie metallica, in virtù della grande vicinanza cui si possono mettere le armature e del maggior potere dielettrico del vetro.

1303. Per caricare al massimo una lamina coibente importa dunque di disporla in maniera che, mentre una sua armatura si elettrizza, l'altra sia in comunicazione col suolo per mettersi allo stato elettrico opposto, altrimenti non potrebbe ricevere che un'elettricità proporzionale alla sua estensione. Si collochi sopra l'isolatore (fig. 265) una boccia di Leida mettendo la sua armatura interna in comunicazione col conduttore della machina elettrica, oppure si sospenda pel gancio al conduttore medesimo (fig. 313), e si faccia girare il disco: dopo qualche giro l'elettrometro indica una grande tensione, il che non accade quando la boccia non è isolata. Il fluido naturale all'armatura esterna fa uno sforzo per disperdersi nel suolo e ridurla così allo stato negativo. Infatti avvicinandovi l'eccitatore si cavera una scintilla prodotta dall'elettrico naturale così attuato, e l'elettrometro

(1) *Annali delle scienze del R. Lombardo-Veneto*, t. II. del 1832, pag. 339.

(2) *Exposition raisonnée de la théorie* ecc. succitata, pag. 256.

della machina si abbasserà per l'aumento di capacità dell'armatura, che si carica. Avvicinando al ventre della boccia una punta in comunicazione col suolo, questa sottrarrà pure dell'elettrico dall'armatura esterna e renderà egualmente più capace l'interna.

Per dimostrare nella scuola quanto la comunicazione col suolo di una delle armature influisca ad accrescere la capacità della lamina coibente, si può istituire l'esperienza seguente: si preparino due lastre di vetro dell'eguale grandezza e grossezza, armate con foglie metalliche delle stesse dimensioni, e disposte rispettivamente in posizione verticale sopra un piede isolatore. In una di queste lamine si pongono le due armature in comunicazione mediante una lista metallica, mentre nell'altra si lasciano segregate come nel quadro magico. Si carichino successivamente colla stessa machina elettrica, che si vedrà l'elettrometro salire a grande tensione dopo qualche giro del disco quando si opera sulla lamina ad armature comunicanti, mentre se ne richiede un maggior numero per innalzare l'elettrometro anche a minor grado, quando si elettrizza l'altra lamina secondo il metodo superiormente indicato. Nella prima si hanno due superficie su cui viene versato l'elettrico, ma la carica d'ambedue d'elettricità omologa fa crescere per situazione la loro rispettiva tensione e diminuire la loro capacità (§. 1274). L'unica armatura della seconda lamina ha una grande capacità per lo stato elettrico opposto, cui si mette l'altra in comunicazione col suolo, e la tensione cresce lentamente a mano grado si seguiti a ruotare il disco della machina.

1304. Le armature dunque delle lamine coibenti armate, come magazzini di elettricità, devono essere trattate in una maniera contraria: così se l'una è disposta a ricevere elettrico, l'altra deve trovarsi in situazione da spogliarsene. Riflettendo al modo con cui sono caricate le lamine coibenti armate, si scorge di leggieri che la quantità totale d'elettrico deve essere presso che eguale avanti e dopo la carica, giacchè, aumentandone la dose sopra un'armatura, l'altra ne perde altrettanto. Vi ha solo una piccola differenza in più o in meno indicata dalla tensione apparente nell'armatura isolata secondo che la carica è positiva o negativa. L'elettrico però, invece d'essere distribuito uniformemente sulle due armature allo stato naturale, è addensato sopra una di esse e rarefatto nell'altra. Questo squilibrio può essere portato ad un grado più o meno grande, quanto più la lamina coibente è sottile e consistente, e quanto più è energica la machina, ben isolate e segregate fra loro le due armature, e l'atmosfera molto secca.

A malgrado della grande quantità d'elettrico addensato sopra una faccia della lamina, la tensione riesce molto minore di quella che altrimenti avrebbe, e ciò in virtù dell'attuazione prodotta dall'altra in difetto. Al contrario, quando si caricano omologamente ambedue le facce, la tensione dell'una aumenta quella sull'altra, ed è per ciò che, elettrizzandosi il disco della machina omologamente sopra le due superficie, si ha ben tosto una tensione abbastanza grande per mettere in istato elettrico il conduttore della medesima.

1305. Se un'armatura tende a spogliarsi dell'elettrico naturale, mentre se ne travasa nell'altra, è chiaro che da ambedue, tenute isolate dal suolo, si avranno tutti gli effetti che si ottengono direttamente dal conduttore della machina. Si è già veduto che appunto si ha la scintilla dall'armatura esterna della boccia di Leida, mentre si carica quella interna (§. 1303). Se ne ottiene altresì un fenomeno somigliante al contraccolpo (§. 1278), quando si travasa o si toglie rapidamente dell'elettrico a quella interna. Si prenda pel ventre una boccia di Leida e si tocchi col suo bottone quello d'un'altra molto più grande carica ad una certa tensione: all'atto del toccamento, la prima boccia si carica con somma rapidità senza che scemi di molto la tensione della seconda per le sue grandi dimensioni, e dall'armatura esterna con pari rapidità si scarica un torrente elettrico, che produce la commozione nel braccio, e la boccia resta carica.

Sospendendo pel gancio la boccia di Leida A al conduttore M della machina (fig. 314), ed al disotto di questa la boccia B, e così successivamente altre bocce sino all'ultima D, che si mette in comunicazione col suolo, è chiaro che, dal conduttore M travasando dell'elettrico nella boccia A, si renderà libero l'elettrico naturale dell'armatura esterna, che passerà nella boccia B e lascierà l'armatura di A allo stato negativo. Nello stesso modo si caricherà la boccia seguente C e così sino all'ultima D, la cui armatura esterna verserà il suo elettrico naturale nel suolo. A questo metodo di caricare una serie di bocce di Leida si è dato da alcuni il nome di *elettrizzare per cascata*, perchè l'elettrico naturale della boccia superiore cade per così dire in quella inferiore seguente, metodo che Beccaria chiama per *cariche conseguenti*. Questa maniera di elettrizzazione si ottiene con una serie di lamine coibenti armate disposte come nella fig. 315. Caricando l'armatura della prima lamina A, si caricano del pari tutte quelle intermedie e l'ultima Z, che ha un'armatura in comunicazione col suolo. Dal modo con cui si dispone l'elettrico naturale alle armature di quest'apparato, apparisce più evidente lo squilibrio del fluido naturale ai corpi dielettrici (§. 1284).

1306 Le bocce di Leida sono nelle sperienze più convenienti dei quadri magici, in virtù del loro facile maneggio e di conservare per la loro struttura più a lungo le cariche. Il quadro è vero si può caricare facilmente tanto in più quanto in meno colla stessa machina, ma coll'aiuto dell'isolatore (fig. 267), si carica con pari facilità la boccia di Leida. Supponiamo d'avere la machina elettrica a disco di vetro, e si voglia caricare la boccia negativamente: si prende colla mano pel gancio l'apparecchio (fig. 316) e si accosta col ventre B al conduttore A, poscia si appoggia colla base sull'isolatore e si toglie la mano. Pigliando poscia la boccia pel ventre B, è chiaro che la sua armatura interna sarà in difetto d'elettrico.

All'appoggio degli stessi principii si carica la boccia di Leida a maggiore tensione di quella che somministra la machina. A tal fine si appenda la boccia pel suo gancio al conduttore della machina, o meglio si collochi sull'isolatore col gancio a contatto del conduttore medesimo (fig. 317). Si abbia previamente caricata d'elettricità contraria la boccia B, il cui gancio si faccia combaciare coll'armatura esterna della A, e poscia si faccia ruotare il disco della machina. Raggiunta la maggiore tensione che può dare la machina, si allontani l'isolatore e con esso la boccia A dal conduttore e poscia si levi la B. È facile comprendere che la boccia A, per l'attuazione dello stato elettrico opposto della B, avrà preso maggior carica, quindi maggior tensione che col metodo ordinario tenendo l'armatura esterna in comunicazione col suolo. Se i cuscinetti della machina sono isolati, si opera direttamente la carica cogli stessi principii, mettendo un'armatura in comunicazione col conduttore e l'altra coi cuscinetti.

1307 Abbiamo detto che l'esperienza originale di Leida si è ripetuta, al nascere della scoperta, con vasi d'altre materie e coibenti riempiuti d'acqua, ma con poco effetto (§. 1299). Conosciuta la teorica dell'apparato si costruirono quadri elettrici con istoffe di lana, di seta e con istacciate di solfo, di resina e simili. Le prime materie lasciano facilmente passare pei loro interstizi l'elettrico, per cui l'apparato non si può caricare che a debolissima tensione.

Le materie resinose, pel loro potere dielettrico maggiore del vetro, si prestano pure alla costruzione degli apparati di Leida (§. 1288); e infatti Beccaria (1), ha costrutto un quadro elettrico di ceralacca ben spianata sopra tavola di marmo liscia, unta d'olio d'ulive e scaldata pel disotto. Ne fabbricò eziandio con lamine di solfo, di pece,

(1) Si vegga l'opera di lui succitata *Elettricismo artificiale*, pag. 75

con lamine fatte di pece mista a colofonio, e di colofonio mescolato con polvere di marmo stacciata ed abbrustolita per renderla coibente (§. 1215). Questi apparati elettrici offrono effetti corrispondenti alla grossezza della lamina, la quale, per la fragilità di quelle materie, non può mai essere ridotta a tale sottigliezza da produrre effetti energici e di evitare la rottura prodotta dallo sforzo che fa l'elettrico per portarsi dall'armatura su cui è accumulato all'altra su cui è in difetto. Ad eccezione del talco di Russia (§ 1301), il vetro è il miglior coibente, che abbia le volute proprietà per la costruzione delle lamine coibenti armate.

1308. Somigliante agli apparati elettrici, di cui sinora abbiamo discorso, è il *quadro del fulmine*. È desso un vero quadro Frankliniano, che ad una certa tensione si scarica da sè con accompagnamento di striscie luminose sull'armatura isolata. La lista, che si ripiega sulla faccia anteriore (§ 1300), è prolungata a poca distanza dall'armatura, talchè, giunta la tensione ad un certo grado, il torrente elettrico si scaglia con impeto a traverso quell'intervallo e succede la scarica accompagnata da viva luce. L'armatura anteriore è formata per ciò di minuzzoli metallici disgiunti l'uno dall'altro ed attaccati alla lamina di vetro con colla forte o con soluzione di gomma arabica, per cui nelle interruzioni succedono delle piccole scintille, che formano tante striscie luminose somiglianti a quelle della folgore. L'altra armatura, che al solito comunica col suolo, è fatta di foglie di stagnuola.

La distanza della lista metallica dall'armatura anteriore varia secondo il diverso grado d'energia della machina elettrica, per la quale deve servire l'apparato. Per le grandi machine quella distanza ascende a parecchi centimetri e il quadro destinato per le medesime non potrebbe servire per quelle di piccole dimensioni. Laonde ogni machina deve possedere il proprio quadro del fulmine per ottenere l'effetto, dove l'intervallo che divide le due armature è tanto più piccolo quanto meno è energica la machina. In quest'apparato le scariche, accompagnate da luce e da scoppio imitando la folgore, si succedono ad intervalli di tempo più o meno lunghi, secondo lo stato della machina, la stagione più o meno favorevole, e la grandezza dell'apparecchio.

Il *bicchiere fulminante* è un apparato somigliante a quello di Leida applicato a burle giocose. Esso consiste in un bicchiere ornato talvolta esternamente di dorature, che fanno le veci dell'armatura esterna la quale del resto è supplita dalla mano con cui si prende. Si riempisce di liquore e si elettrizza, in tale stato la persona, ignara della

preparazione, lo mette alla bocca per bere e resta sorpreso e sbalordito per la scossa che ne riceve.

1309. In una lamina coibente è ufficio delle armature di mettere in esatta comunicazione ogni punto con buoni conduttori in modo che possa essere distribuita su la sua superficie uniformemente la carica e di raccoglierla tutta riunita quando deve essere scaricata. L'elettrico è sì aderente a la lamina e cerca con tanta forza di farsi strada attraverso la medesima, che levando le armature con manichi isolatori buona porzione della carica resta ancora sulla lamina coibente. Nelle cariche deboli si ha in proporzione più elettricità su le armature, mentre nelle forti si mostra maggiore sulla lamina coibente.

Questa verità si dimostra colla lamina AB armata a guisa del quadro magico e le cui armature *ab*, *cd* siano mobili e munite di manichi di vetro per distaccarle dopo la carica (fig. 311). Operando in tal maniera si trova coll'elettrometro maggiore elettricità sulle armature o su la lamina secondo che la carica è debole o forte. A tale dimostrazione è più comoda per la scuola la *boccia ad armature mobili* (fig. 318). Essa si compone d'una giara, le cui armature sono vasi concentrici a quello di vetro. Si carica l'apparato, e con una bacchetta di vetro intonacata di ceralacca, applicata al gancio *g*, si solleva e si estrae l'armatura interna; poscia prendendola per l'orlo si leva il vaso di vetro dall'armatura esterna. Si esplora così separatamente lo stato elettrico delle due armature, tenendo l'esterna sopra l'isolatore come pure la lamina coibente, e si trovano l'una e le altre più o meno cariche secondo i casi mentovati. Rimettendo le armature al suo posto, si trova l'apparato ancora carico. In mancanza di vaso di Leida ad armature mobili si dimostra tale verità anche con un'ampolla da speziale, di cui s'intonaca il collo con ceralacca e si ricopre la superficie esterna con istagnuola come l'apparato di Leida. Riempiuta in parte d'acqua, o di limatura, o di grani di metallo, si carica l'ampolla al modo della boccia di Leida e, prendendola pel collo mediante un corpo coibente, si versa fuori l'acqua o i minuzzoli: si trova che l'ampolla è ancora elettrizzata, giacchè se s'introduce altr'acqua od altri minuzzoli di metallo da la scarica. Inoltre raccolta l'acqua in un vaso di vetro mostra pure lo stato elettrico.

1310. Parecchie bocce di Leida ordinate in una cassetta A (fig 319) formano la *batteria elettrica*. Il fondo della cassetta, su cui riposano le bocce, è foderato di foglia di stagnuola o di latta che mette in comunicazione fra loro tutte le armature esterne. Le interne sono riunite in serie pei loro ganci mediante verghette cilindriche *ab*, *cd*,

e ciascuna serie con verghette trasversali *bd*, che si possono disgiungere per escluderne qualche serie. La cassetta è divisa in compartimenti con assicelle di legno, in ciascuno dei quali riposa una boccia. La lamina metallica del fondo si prolunga con un'appendice esternamente congiunta con una catenella *pq* che riposa sul suolo, e serve alla scarica della batteria. Si potrebbero combinare in consimile modo dei quadri magici e formare delle batterie con questi apparati, ma nell'uso non riescirebbero così comode come le precedenti.

La forza d'una batteria cresce in generale coll'estensione delle superficie metalliche componenti le armature interne. Potendosi la superficie aumentare moltiplicando il numero delle bocce di Leida, non si deve credere che in tal modo si ottenga un apparecchio di gagliardia indefinitamente crescente. Imperocchè la forza delle batterie dipende eziandio dalla prontezza con cui sono caricate ossia dal tempo necessario a portarle ad una data tensione. Questo tempo risulta tanto più grande quanto più è estesa la superficie armata, colla quale aumentano i punti per dove succede la dispersione, che va tutta a scapito della carica e cresce colla tensione (§ 1268). Moltiplicando il numero delle bocce aumentano dunque i punti per la dispersione, la quale giunge più presto a quel grado, in cui anche a mediocre tensione eguaglia l'elettricità, che nello stesso tempo somministra la machina, per quanto si giri il disco la batteria non si carica di più oltre quel punto. Si scorge quindi che la grandezza della batteria deve essere proporzionale alla grandezza ed alla bontà della machina, e che per ciascuna di queste machine la batteria più energica è quella che ha un numero di bocce di Leida, le cui armature formano una superficie che dà la minima dispersione relativamente alla tensione, cui può essere caricata, il che non può essere conosciuto che dall'esperienza. Una batteria di mediocre grandezza, dove la carica riceve tutta la tensione di cui è suscettibile la machina, produce generalmente un effetto maggiore d'un'altra composta di gran numero di bocce di Leida, che non si può portare che ad una piccola tensione.

La bontà d'una batteria per una data machina è meglio comporla di qualche grande boccia, che di molte di piccole dimensioni, per la ragione che una grande boccia di Leida presenta minori punti alla dispersione che non parecchie piccole, le cui armature in complesso siano d'estensione equivalente a quella di una grande. Una grande giara del diametro di 30 centimetri presenterebbe di armatura interna la superficie di decimetri quadrati 51,8, per la quale si richiederebbero più di 10 bocce di Leida del diametro ciascuna di 10

centimetri. Il lembo delle armature di tutte queste bocce riunite in batteria risulterebbe più del triplo di quello dell'armatura della giara, per cui ad eguale superficie armata la batteria di bocce avrebbe il triplo di punti disperdenti della giara, oltre dieci ganci invece di un solo. Posta eguale la grossezza del vetro, è meglio riunire in batteria due di quelle giare, le quali, presentando più di 100 decimetri quadrati d'armatura, danno una batteria più potente di quella composta di 20 e più bocce di Leida di diametro ordinario.

In virtù della grande sottigliezza e consistenza del talco si formano delle lamine coibenti armate molto più potenti di quelle di vetro di eguali dimensioni (§ 1301). Una batteria quindi composta di lamine di talco presenterebbe in piccola mole una forza più poderosa di lamine di vetro di dimensioni ben anche molto maggiori. Nicholson ha costrutto una batteria con 12 lamine di talco, le quali riunite assieme avevano la grossezza di millimetri 6,3 (3 linee), di cui ciascuna occupava l'estensione di decimetri quadrati 0,146 (2 pollici quadrati) ed equivaleva in quanto all'effetto all'armatura di decimetri quadrati 73,86 (7 piedi quadrati) di lastra di vetro comune da finestra (1), vale a dire ad un'armatura 500 volte maggiore. La batteria delle 12 lamine di talco equivaleva all'effetto della batteria formata di 17 delle sunominate giare, il cui vetro avesse la grossezza indicata.

È necessario molta robustezza in un uomo per sostenere senza pericolo la scossa d'una batteria elettrica di lamine di vetro della superficie di 11 in 12 decimetri quadrati caricata mediante una machina ordinaria, per cui nel trattare le grandi batterie è mestieri usare ogni cautela, onde non essere fulminati. La carica deve essere regolata con un buon elettrometro a quadrante, contando ben anche il numero dei giri del disco determinato con qualche sperienza preliminare. Se la machina è in buono stato e il tempo favorevole, oltrepassando un certo grado si sente una specie di crepitazione, la quale è foriera d'una scarica spontanea, che bisogna procurare d'evitare per essere sovente causa della rottura di qualche boccia. Dalla distanza esplosiva della scintilla, provocata da una batteria, si argomenta eziandio della forza con cui è caricata: per una batteria comune la distanza di centimetri 1,5 indica già una forte carica.

1311. Le lamine coibenti armate, tanto semplici quanto composte in batterie, si scaricano con corpi più o meno conduttori, mettendo dapprima a contatto una loro estremità coll'armatura in comu-

(1) *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet* t. IV pag. 336.

nicazione col suolo ed accostando l'altra all'armatura isolata ed elettrizzata. Il torrente elettrico balena in scintilla fra l'estremità del corpo scaricatore e l'armatura isolata e rimette in equilibrio le due armature. Allorquando l'arco congiungente le due armature è di metallo, si può tenerlo impunemente nella mano senza pericolo che la persona provi gli effetti della scarica, per la ragione che l elettrico percorre a preferenza i buoni conduttori quali sono i metalli, come quanto prima dimostreremo. Ma quando nell arco v'entra qualche corpo dotato di poca conducibilità, bisogna servirsi degli scaricatori a manico isolato (§. 1235), principalmente se si tratta d'una batteria elettrica. In questi casi importa ancor più di congiungere prima un ramo dello scaricatore coi corpi, attraverso i quali deve transitare la scarica e comunicano co le armature esterne, e poscia portare il globetto dell'altro ramo a contatto colle armature interne. Supponiamo che si debba dirigere il torrente elettrico della batteria sopra un animaletto o qualunque altro corpo per esperimentarne gli effetti: in questi casi si obbliga l'animaletto sul piede isolatore P dello scaricatore universale (fig. 265), e posc a si mettono a contatto con esso i globetti delle due verghette nei due punti opposti alla linea per dove si vuole dirigere la scarica. Fatto ciò, si congiunge mediante una catenella metallica una delle verghette colle armature esterne della batteria, e poscia lo scaricatore a manico coibente, applicato con un'estremità all'altra verghetta, si avvicina dall'opposta alle armature interne della batteria, e si obbliga così il torrente elettrico a percorrere le verghette e l'animaletto. con cui sono congiunte.

È questo il modo di scaricare i coibenti armati quando si voglia dirigere il torrente elettrico per qualche corpo o metterli semplicemente allo stato naturale. Allorquando l'arco scaricatore, fra le due armature, è un buon conduttore come il metallo, succede in esso e nell'armatura isolata, cui s'accosta, un rimovimento d'elettrico, che precede il fenomeno nell egual modo della scarica dei conduttori ordinarii (§. 1290), eccetto che in questo caso il fluido eccedente o mancante, invece d'essere prestato dal suolo, lo è dall'altra armatura. Che se vi ha intermedio un conduttore imperfetto isolato dal suolo, allora la scarica è parziale e rimane sempre nell'apparecchio qualche residuo più o meno grande, secondo il grado di conducibilità del medesimo.

1312. Quando al torrente elettrico si presentano più vie per mettersi in equilibrio, vedremo ch'esso si divide su di esse in ragione del grado di conducibilità dei corpi, di cui si compongono. Se questi

corpi sono più o meno cattivi conduttori, la divisione del torrente elettrico succede in un modo più sensibile. È appunto per ciò che, quando l'arco scaricatore si compone di molte persone congiunte colle mani e poste sopra un suolo umido, quelle di mezzo provano una scossa insensibile, mentre la commozione riesce notabile alle esterne. La persona che provoca la scarica, se l'apparato è caricato in più, incomincia per attuazione a dare del proprio elettrico naturale per la mano a quella contigua e pei piedi al sottoposto terreno, questa fa egualmente colla terza persona, e così via via per le altre seguenti. Dal lato opposto del circolo il fenomeno succede in ordine inverso: la persona incomincia a dare del proprio elettrico all'armatura negativa divenuta in istato di riceverne per la diminuita attuazione di quella positiva. Essa quindi ne attrae dalla persona contigua per la mano e pei piedi dal terreno. La penultima persona fa lo stesso relativamente alla seguente e così delle altre. Laonde dall'uno e dall'altro lato l'elettrico che incomincia a mettersi in moto per l'arco delle persone va diminuendo dagli estremi verso il punto di mezzo. Lo stesso succede quando, al rimovimento dell'elettrico naturale, segue la scarica dell'apparato, ed è per questo che in tal caso le persone di mezzo provano un effetto nullo od insensibile secondo che il terreno è più o meno conduttore; mentre la commozione delle estreme è grande. Se l'apparato è carico negativamente le cose avvengono all'inverso in quanto alla direzione del fluido elettrico, ma l'effetto è uguale sulle persone. Che se il terreno, su cui riposano, è imperfetto conduttore, allora l'elettrico si dirige quasi per intero lungo la catena delle persone, e quelle di mezzo sentono la scossa, tanto più forte quanto più il suolo medesimo è cattivo conduttore e quanto più strettamente si congiungono tra loro, bagnando anche le mani per rendere più facile quella via al torrente. Affinchè tutte le persone dell'arco scaricatore provassero l'egual effetto, bisognerebbe che riposassero sopra sgabelli isolatori o sopra qualsiasi altri corpi coibenti.

1315. In quella guisa che, per la maggiore carica da darsi ad una lamina coibente armata, le due armature si trattano in una maniera contraria (§ 1304), per la scarica totale deve l'apparecchio essere così disposto che, mentre ad un'armatura si dà o si toglie elettrico l'altra possa spogliarsene o riceverne. Laonde da una boccia di Leida, caricata per es. in più e posta sul sostegno isolatore (fig. 263), non si può levare coll'eccitatore che il fluido libero nell'armatura interna, e per ottenere la scarica totale bisogna mettere l'armatura esterna in comunicazione col suolo, da cui riceva elettrico e lasci così libero quello

dissimulato nell'interno dell'apparecchio. A meglio far sentire nella scuola una tale verità, si prendano due bocce di Leida presso che eguali, si carichi l'una in più e l'altra in meno, e si collochi ciascuna separatamente sopra un sostegno isolatore. Collo scaricatore a manico si facciano poscia comunicare le armature interne dei due apparati, quantunque si riuniscano due capacità l'una in eccesso e l'altra in difetto d'elettrico, la scarica totale non succede. Il fluido eccedente della prima boccia non passa nella seconda in deficienza, per la ragione che sulla sua armatura esterna non può accorrere dell'elettrico, e d'altronde la seconda non essendo in situazione da spogliarsi del fluido eccedente sulla sua armatura esterna non può riceverne in quella interna. Le due bocce si scaricano reciprocamente l'una sull'altra, quando si mettano in comunicazione fra loro non solo le due armature interne, ma anche le due esterne. Se i due apparati hanno esattamente eguale capacità, la scarica dell'uno e dell'altro è totale. In questo caso si ha una conferma dello stato elettrico opposto (§. 1225), annullando il difetto dell'uno l'eccesso di elettrico dell'altro.

1314. Da questo principio dipende la spiegazione della seguente sperienza. Si sospenda ad un cordoncino di seta un quadro magico caricato previamente nella solita maniera, alle cui armature si è attaccato con cera un pendolino fatto con filo di lino. Si metta in comunicazione col suolo l'armatura posteriore, il cui elettrometro perciò si manterrà a zero, mentre quello dell'anteriore avrà una certa divergenza. Si noti il tempo che impiega a scaricarsi da se l'apparecchio così disposto. Poscia si carichi di nuovo all'eguale tensione e si noti pure il tempo che impiega a scaricarsi senza far comunicare col suolo l'armatura. Nel primo caso il pendolino della faccia anteriore si abbassa celeremente disperdendosi facilmente l'elettricità nell'aria, mentre sulla posteriore col mezzo del suolo la tensione si mantiene a zero. Nel secondo caso, essendo anche l'armatura posteriore isolata, quella anteriore non può per es. perdere dell'elettrico di cui è in eccesso se nello stesso tempo la posteriore non ne riceve, e quindi la dispersione riesce più difficile, la scarica è lenta e si compisce in un tempo molto più lungo. Al principio l'elettrometro dell'armatura anteriore s'abbassa, mentre s'innalza nello stesso tempo quello della posteriore, e ben presto la loro divergenza diventa presso che eguale. Allorquando i due pendoli sono giunti a questo punto, quello posteriore incomincia a diminuire e continua ad abbassarsi l'altro, ma con moto molto più lento dei primi istanti. Vanno così avvicinandosi cia-

scuno alla rispettiva faccia, sinchè l'elettricità è interamente dissipata e gli elettrometri prendono la direzione verticale.

La boccia di Leida, sospesa nell'aria, riesce ancor più difficile del quadro magico a scaricarsi per dispersione. Si è imaginato un congegno per togliere la sua armatura interna dal contatto dell'atmosfera e meglio segregarla dall'esterna: si tiene così carica per molto tempo, e Cavallo, che ne ebbe la prima idea, ha conservato l'elettricità per sei e più settimane. Noi ne abbiamo variata la costruzione in modo che riesce più comoda nella pratica, e la distinguiamo col nome di *boccia a valvola*. Consiste essa nella boccia di Leida AB armata come al solito (fig. 320), avendo assicurato nel collo con mastice il tubo di vetro *ab*, che s'interna in essa: il tubo inferiormente è chiuso da un cappello di metallo *b* congiunto pure con mastice, cui è attaccato un filo metallico, che si prolunga sino al fondo della boccia e comunica coll'armatura interna. Un secondo tubo di vetro più piccolo *cd* entra a dolce sfregamento nel primo e porta superiormente colla viera *c* il gancio. Questo secondo tubo è riempiuto interamente di mastice, con cui abbraccia altro filo di metallo, il quale superiormente è attaccato alla viera *c* e si prolunga alquanto nella parte inferiore fuori del tubo. Comprimendo la viera *c*, si obbliga il piccolo tubo ad internarsi nel grande ed a mettere a combaciamento l'estremità inferiore del filo col coperchio *b*. In tale posizione l'armatura interna comunica col gancio e si elettrizza la boccia nella maniera ordinaria: fatta la carica, si colloca l'apparato sopra l'isolatore e si tira alquanto all'infuori il piccolo tubo mediante un cilindretto di vetro applicato al gancio, con cui se ne disgiunge l'armatura interna. Al secondo tubo si può sostituire un tappo di sovero, nel cui asse si muove a sfregamento la verghetta metallica del gancio, la quale porta inferiormente il filo per metterla in comunicazione coll'armatura interna. La boccia a valvola può essere vantaggiosa in alcune circostanze per trasportare l'elettricità da uno ad altro luogo.

1315. Nella scarica d'una boccia di Leida, quando l'arco è molto lungo e, quantunque buon conduttore, si ripiega retrocedendo a poca distanza dalla prima porzione, come mostra la figura 321, accade che il torrente elettrico raccorcia il cammino e si slancia a traverso l'intervallo *mn* per portarsi dall'una all'altra armatura. Affinchè succeda il fenomeno, la carica deve avere una certa tensione e l'arco essere formato d'un filo metallico non molto grosso e della lunghezza di alcuni metri. Il torrente elettrico, appena invade il filo metallico, ha una grande tensione, la quale va tosto diminuendo con grande

rapidità. D'altra parte gli ostacoli, al trascorrimento dell'elettrico, si moltiplicano colla lunghezza del cammino e giungono al punto d'essere maggiori della resistenza dell'aria interposta ai due punti m, n, dove, per l'attuazione prodotta dalla maggior tensione, l'elettrico trova più facile di transitare per lo spazio mn che prendere il lungo cammino del conduttore metallico.

Il fenomeno è conosciuto sotto la denominazione di *scarica laterale*, la quale fu esaminata ultimamente da Riess (1), dimostrando che, quando la carica è molto forte, salta la scintilla anche sopra un conduttore interrotto da uno strato d'aria di qualche millimetro posto all'estremità dell'arco scaricatore. Egli stabilisce che la distanza della scarica laterale è in ragione diretta della tensione ed inversa dell'ostacolo al passaggio del torrente elettrico lungo l'arco scaricatore (2).

1316. Dopo la prima scarica d'un coibente armato, se ne ottiene una seconda ed anche una terza, piccola bensì ma talvolta abbastanza sensibile secondo il tempo più o meno lungo trascorso dall'una all'altra. Si ha con ciò il *residuo della scarica*, il quale da Beccaria è distinto in *pronto* e in *latente*. Accade eziandio di rinvenire qualche residuo coll'aiuto del condensatore (§ 1296) dopo la terza ed altre consecutive secondo le diverse circostanze, che andiamo ad indicare.

Se l'arco è un cattivo conduttore si trova un residuo abbastanza sensibile subito dopo la prima scarica. Ma se si mette a contatto l'estremità dello scaricatore coll'armatura isolata tenendovelo per qualche tempo, il residuo pronto non si manifesta, quand'anche l'arco sia un conduttore imperfetto, per es. un cilindro di carbone o un bastone di legno verde, ed anche una treccia di paglia umida. Prolungando ancor più il toccamento scomparisce eziandio il residuo latente, ma esso si manifesta dopo la prima e seconda scarica subitanea, elettrizzando l'apparato a forte tensione e tenendolo carico per alcuni minuti. Coll'arco, composto d'una catenella metallica, posto a contatto per un tempo brevissimo si ha il residuo subito dopo la prima scarica. Il residuo latente però si manifesta sempre dopo qualche tempo, e se non è capace di dare la scintilla si riconosce però coll'elettrometro a pagliuzze o col condensatore, nello stesso modo si riscontra il residuo latente dopo la seconda, terza ecc. scarica.

Il residuo pronto riesce molto sensibile nei grandi coibenti armati e nelle batterie, per la ragione che l'elettrico, dovendo svincolarsi

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. II, pag. [illegible]

(2) *Annalen der Physik* ecc. di Poggendorff, t. LIII, pag. 1

dall'attuazione sulla superficie dove è in eccesso per passare a quella opposta in difetto (§. 1309), richiede un certo tempo, il quale diventa maggiore per le armature molto estese. Il residuo latente, che si manifesta anche dopo parecchie scariche fatte a certi intervalli di tempo l'una dall'altra, dipende non solo dall'elettricità, che si è diffusa sulla lamina coibente all'intorno dell'armatura, ma eziandio dallo squilibrio dell'elettrico proprio alle particelle interne della lamina medesima (§. 1289). D'altronde lo stato elettrico nella ceralacca ed in altre materie ben essiccate si manifesta collo stropicciamento diretto indipendentemente da qualunque velo d'umidità alla loro superficie (§. 1215). I residui latenti rimascono ben anche dopo alcune ore, e perchè abbiano luogo è necessario tenere caricata la lamina per un tempo più o meno grande onde succeda lo spostamento del fluido interno, e si diffonda l'elettricità sulla lamina all'intorno dell'armatura. È appunto in causa di questo residuo che, tenendo elettrizzata per qualche tempo una boccia di Leida e dividendone la carica sopra altra boccia d'eguali dimensioni col contatto dei loro bottoni, si trova che la tensione della seconda vien meno più presto di quella della prima, nella quale talvolta al principio aumenta alcun poco in virtù dell'elettricità latente.

1317. Per questo internarsi dell'elettricità nell'interno e sulle lamine coibenti, si può caricare l'elettroforo trascorrendo sulla stiacciata di resina col bottone d'una boccia di Leida previamente elettrizzata, invece di adoperare la pelle di gatto (§. 1298). Se la boccia è carica positivamente, si elettrizza del pari in più la stiacciata, e nella sovrapposizione e nell'allontanamento dello scudo si hanno segni contrarii di quando la stiacciata si stropicciava colla pelle medesima, e ciò per la ragione di possedere la materia resinosa elettricità contraria a quella che acquista collo stropicciamento.

Stropicciando collo scudo, a contatto della mano, una lamina di vetro collocata sopra una metallica in comunicazione col suolo di dimensioni minori, come sarebbe l'armatura del quadro magico, si sviluppa sulla superficie del vetro una forte elettricità positiva, che vi rimane in parte aderente all'atto che se ne allontana il disco, manifestandosi nell'allontanamento delle scintille sensibilissime fra il vetro ed il metallo. In quest'esperienza si ha un'altra prova dell'efficacia dell'amalgama metallica applicata sui cuscinetti per istropicciare il disco di vetro della machina elettrica.

1318. Le due armature della lamina coibente AB (fig. 311) siano mobili e munite di manico isolatore, come in altra sperienza (§. 1309

Caricando l'apparecchio ad una tensione un poco forte, le armature all'atto che si separano, offrono una notabile resistenza, e durante il distacco si sente uno scoppiettio, come di materia che si laceri, prodotto da piccole scintille, che appariscono fra la superficie della lamina e le armature. Questa opposizione al distacco delle armature del coibente ha avuto il nome dai fisici del trascorso secolo di *aderenza* o di *adesione elettrica*. Lo sforzo, che oppongono in tal caso le lastre di metallo ad essere separate da quella coibente, dipende dall'attrazione reciproca fra due corpi in istato elettrico opposto (§ 1241). L'adesione elettrica si manifesta in un modo più permanente fra corpi coibenti posti in tale stato, i quali furono soggetto di studio nel trascorso secolo a Symmer (1), Cigna (2), Beccaria (3) ed altri fisici. Le loro sperienze presentavano qualche importanza, in quanto che si discuteva il sistema da seguirsi per dar ragione dei fenomeni e dei moltiplici fatti sin allora conosciuti intorno all'elettricità, ed era inoltre da poco tempo nota la scoperta della boccia di Leida estesa poscia ai diversi coibenti armati, dei quali interessava in ogni circostanza di studiare le particolarità per rischiararne la teorica. Ora non riescono più dell'uguale interesse, dipendendo tutti quei fenomeni dal principio dell'attuazione a traverso le materie dielettriche.

Symmer soprappose l'una all'altra due lamine di vetro eguali, sottili e ben liscie, ed applicò sulla loro superficie esterna una foglia metallica di dimensioni minori, formando così un quadro magico o lamina duplicata. Elettrizzò una delle foglie metalliche, e poscia la scaricò mettendola in comunicazione coll'altra. Le due lamine di vetro appena elettrizzate aderivano fortemente fra loro, e l'adesione si conservò anche dopo la scarica. Cigna trovò che un nastro di seta elettrizzato, avvicinandolo ad una lastra di piombo ben isolata, ne era attratto assai debolmente; ma accostando il dito al metallo, ne balenò una scintilla, e il nastro fu tosto vigorosamente attratto, rimanendo aderente al piombo. Il fisico italiano pose a combaciamento come l'inglese due lamine di vetro, collocandole sopra un piano deferente non isolato, e stropicciò la superiore con un brandello di pannolano. Dopo tale operazione le lamine mostrarono aderenza fra loro e col

(1) *Transazioni filosofiche* della Società R. di Londra, t. LI, pag. 340.

(2) *Miscellanea* della R. Accademia di Torino del 1765, t. III, pag. 31.

(3) *Experimenta atque observationes quibus electricitas vindex late constituitur atque explicatur*. Torino 1769.

piano deferente su cui riposavano. Le lamine, dopo esserne sollevate senza disgiungerle, diedero segni ambedue d'elettricità positiva alle superficie esterne, mentre il piano, previamente isolato, offriva lo stato negativo. Collocando di nuovo le lamine sul corpo deferente gli stati elettrici scomparivano. Disgiunse egli altresì le due lamine di vetro e rinvenne che la superiore dava segni d'elettricità in eccesso in ambedue le facce, e l'inferiore in difetto. Riunendo i due vetri i segni elettrici non erano più sensibili.

L'adesione delle lamine di vetro nell'esperienza di Symmer, anche dopo essere state scaricate le foglie metalliche, avviene in causa degli stati elettrici opposti dei residui della scarica (§. 1316). La prima sperienza di Cigna è somigliante a quella dell'elettroforo (§. 1298) dove il nastro di seta figura la stiacciata e la lastra di piombo lo scudo. Nell'altra sperienza del fisico italiano, le lamine aderivano fra loro e col sottoposto piano in virtù dello stato elettrico opposto prodotto dall'attuazione del vetro superiore. La lamina stropicciata si elettrizzava in eccesso e produceva, per attuazione sull'altra, eguale stato elettrico, che veniva dissimulato dal piano deferente. Disgiunte da questo piano, l'elettricità in più si manifestava per ciò sulla superficie esterna delle due lamine e scompariva ponendole di nuovo sul medesimo. Venendo isolato il piano avanti il disgiungimento delle lamine, è chiaro che doveva mostrare l'elettricità negativa. Durante il combaciamento col corpo deferente la lamina inferiore ha dovuto perdere dell'elettrico naturale alle particelle di contatto, talchè, separate l'una dall'altra, la lamina superiore mostrava l'elettricità in eccesso anche nella faccia opposta a quella effettivamente caricata, ossia erano le sue superficie egualmente elettrizzate in più, l'inferiore invece, in difetto d'elettrico nella superficie esterna, doveva per attuazione dar segno d'elettricità omologa sull'opposta faccia.

I fenomeni delle calze, addossate l'una sull'altra ed elettrizzate da Symmer, ed altre sperienze consimili di Cigna, come pure l'aderenza dell'ago della bussola al coperchio di vetro, dopo essere stato levato il corpo elettrizzato, osservata la prima volta a Pechino da alcuni missionari e registrata da Epino nel t. VII degli *Atti* dell'Academia di Pietroborgo del 1761, e parecchie altre osservazioni ed esperienze di questo genere dipendono tutte dal principio dell'attuazione.

Beccaria ha istituito pure sullo stesso soggetto un gran numero di sperienze. Egli ha ripetuto anche quella di Cigna, armando di foglie metalliche le facce esterne delle lamine di vetro ed elettrizzandone l'una in più e l'altra in meno, e ne ottenne fenomeni somiglianti

Quest'esperienza di Beccaria era stata fatta quasi contemporaneamente da Wilke, ma il fisico italiano l'ha variata sotto ogni rapporto, avendone anche elettrizzate le lamine di vetro ad una forte tensione, per cui n'aveva dei residui latenti più duraturi di quelli ch'ebbero Cigna e Wilke. Il caso poi delle due lamine di vetro armate, che non davano verun segno elettrico, e lo spiegavano quando ne distaccava le armature, indusse il Beccaria a supporre che quest'elettricità venisse eccitata nella separazione stessa e la chiamò *elettricità vindice*, siccome quella, egli dice, che in tali circostanze *sibi vindicat locum suum*. La quale opinione sino dall'anno 1769 fu vittoriosamente combattuta da Volta nella sua dissertazione epistolare diretta al Beccaria medesimo (1).

Da quanto conosciamo intorno all'aderenza elettrica non siamo lontani dal credere che, nei fenomeni dell'adesione molecolare fra due lastre di vetro e di altri coibenti, vi prenda parte l'elettricità (§ 79).

1319. L'elettrico latente nella materia ponderabile non solo si rende libero e sensibile collo stropicciamento praticato nelle maniere descritte, ma con altri mezzi meccanici, come pure con operazioni fisiche e chimiche (§. 1218). Si citava comunemente una sola sperienza di Libes in conferma dello sviluppo d'elettrico mediante *la pressione*, quando Volta sino dall'anno 1796 lo aveva dimostrato con un gran numero di fatti (2). D'altronde alla maggior parte dei fisici non risultava ben chiaro se l'elettricità, nel modo con cui l'otteneva Libes, provenisse dalla pressione piuttosto che da una specie di confricazione. Altri fisici, e principalmente Haüy e Becquerel, richiamarono parecchi anni dopo Volta l'attenzione degli studiosi su questo metodo d'eccitamento dell'elettrico, aggiungendo molti altri fatti a quelli del grande elettricista italiano.

Volta ha istituito le sue sperienze con piattelli d'argento, d'ottone, di stagno, di zinco ed altri metalli che, tenuti isolati con manico, applicava sopra legni verdi, pelli, carta, pannolano, avorio, mattoni e diverse pietre porose e materie imbevute d'acqua onde renderle conduttrici. I piattelli venivano applicati per semplice contatto senza pressione considerabile e con forte pressione, come pure con percossa e con istrofinamento in piano od in costa contro i nominati corpi ed anche altri metalli. L'umidità non era al grado di bagnare il metallo, essendo naturale in alcune materie, mentre altre venivano ap-

(1) *Collezione delle opere di Volta*, t. I, parte 1ª, pag. 1.

(2) *Collezione succitata*, t. II, parte 2ª, pag. 66-68.

positamente inumidite per renderle conduttrici. I risultati ottenuti sono i seguenti: 1° l'argento, lo stagno, e parecchi altri metalli prendono generalmente l'elettricità negativa, mentre pochi altri e principalmente lo zinco prendono la positiva, 2° tutti però, anche lo zinco, si elettrizzano in meno quantunque in debolissimo grado, venendo posti a combaciamento mediante una lieve o forte pressione con panno, carta, cuoio, avorio ecc., 3° contro i corpi umidi la pressione, la percossa, ed anche lo stropicciamento non operano più della semplice applicazione accompagnata da lieve pressione per l'esatto combaciamento, mentre contro corpi non molto umidi, che partecipano di più della natura dei coibenti, risulta molto efficace allo svolgimento dell'elettricità la forte pressione ed ancor più le percosse, e meglio lo stropicciamento, 4° la semplice applicazione dei metalli a combaciamento di corpi non del tutto coibenti, ma neppure per molto umido troppo conduttori, fa inclinare i metalli stessi quali più quali meno all'elettricità negativa — E, la pressione talvolta a + E, le percosse più decisamente a + E, e molto più ancora a + E lo stropicciamento massime in costa.

Volta osserva eziandio in queste sue sperienze che il piattello d'argento per es. contro la carta nè asciuttissima nè troppo umida acquista col semplice combaciamento, senza notabile pressione, l'elettricità — E; con una pressione discretamente forte, 1 in 2 gradi ancora di — E, colla percossa, meno di 1 grado — E o nulla od anche qualche grado + E; e collo stropicciamento, immancabilmente + E e questa di 3 in 4 ed anche più gradi. Il piattello zinco, colla semplice applicazione, meno di 1 grado — E, colla pressione, 2 in 3 gradi + E, colle percosse, 4 in 6 gradi di + E; e finalmente 10 in 12 e più gradi + E collo stropicciamento. Davy ha sperimentato molto dopo in un modo somigliante con materie saline ed acide, che possono esistere sotto la forma secca e solida, poste a contatto con metalli. Becquerel, nel riconoscere l'esattezza delle sperienze del celebre fisico inglese, vorrebbe che gli effetti fossero dovuti allo sfregamento (1). Importa di notare che nello stropicciamento dei metalli contro corpi coibenti un poco umidi, i primi si elettrizzano positivamente. L'umidità del disco di vetro, stropicciato dall'amalgama dei cuscinetti della machina elettrica, non potrebbe avere influenza sulla nullità d'effetto di questa anche secondo un tale principio stabilito da Volta?

(1) *Traité de l'électricité et du magnétisme* ecc. t. v. parte 2ª pag. 5

1320. Volta aveva già trovato che la pressione è un mezzo molto efficace allo svolgimento dell'elettrico nei corpi, che partecipano della natura dei coibenti. Questi casi sono stati moltiplicati da Haüy e Becquerel. Il primo trovò che lo spato islandico, quando è molto diafano, si elettrizza alla più lieve pressione, e si conserva lungamente in tale stato in virtù della sua coibenza. Esso non perde lo stato elettrico toccandolo colla mano o con altro deferente in comunicazione col suolo e neppure tuffandolo nell'acqua. Parecchi altri minerali si prestano egualmente all'elettricità per pressione, fra i quali si annovera il topazio, principalmente incoloro, il fluato di calce, il carbonato di piombo. Per rendere duratura per qualche tempo l'elettricità in quei minerali, bisogna levare loro l'umidità col riscaldamento e ridurli sotto forma di sottili lamine.

L'esperienza s'istituisce assicurando queste lamine a manichi di vetro e, dopo aver verificato che non posseggono elettricità libera, si premono due di queste lamine l'una contro l'altra. Bisogna usare una certa destrezza nel fare queste sperienze, tanto più che alcuni corpi divengono elettrici solo in grado debolissimo. Becquerel trovò elettrici per pressione il sovero, il midollo di sambuco, la gomma elastica, il gesso. Nel distaccarli è d'uopo operare tanto più rapidamente quanto più i corpi sono meno coibenti. Lo stato elettrico si riconosce con buon elettrometro a pagliuzze od a foglielle, o meglio coll'elettroscopio a pila, di cui parleremo.

1321. Lo spato islandico, per la facilità di elettrizzarsi alla più lieve pressione, è stato applicato alla costruzione d'un elettroscopio, molto proprio a riconoscere la specie d'elettricità dei corpi. Esso consiste in un ago *ab* d'argento o d'ottone (fig. 322), terminato da una parte in un globetto *g* dello stesso metallo ed all'opposta dalla piccola lamina *d* di spato islandico, che vi si assicura con cera o con qualche simile materia. L'ago riposa sul perno infisso nel a colonnetta di gommalacca o cera spagna AB.

Dovendo far uso di questo piccolo apparecchio, si preme con due dita la lamina di spato islandico, il quale si elettrizza positivamente e conserva questo stato per qualche tempo. Si ha dunque in esso un *elettroscopio ad ago positivo*. Avvicinando allo spato il corpo elettrizzato, se ne è attratto è segno di elettricità negativa, se repulso di positiva.

1322. Oltre l'elettricità ottenuta per *feltrazione*, di cui altrove si è fatto parola (§. 1228), e che dipende dallo stropicciamento, si danno altri mezzi meccanici per isvolgere l'elettrico, fra i quali si annove-

rano la *sfaldatura* ed il *laceramento*. Levando con destrezza ad un corpo delle falde, che resistono al distacco, si produce dell'elettrico. Si assicuri una lamina di mica ad un manico di vetro e se ne distacchino con rapidità delle falde, si scorge nell'oscurità una luce fosforescente e le particelle distaccate prendono l'elettricità contraria alla massa rimanente della lamina. Il talco sfogliato ed il feldspato del S. Gottardo, la calce solfata limpida, come pure lo zucchero, la creta ed altre materie sono pure elettriche per isfaldatura (1). Un cartone composto di parecchi fogli incollati gli uni sugli altri, presenta fenomeni analoghi quando se ne disgregano successivamente le parti.

L'esperienza di Libes succitata si riferisce piuttosto all'elettricità per laceramento che per pressione. Si distenda sopra un disco di legno del taffettà gommato e della tela cerata, gli si sovrapponga un disco di metallo isolato, si premano i due corpi l'uno contro l'altro e poscia si distacchino: si trova che il metallo è elettrizzato negativamente ed il taffettà positivamente. La tela cerata dà degli effetti meno sensibili sperimentando nello stesso modo del taffettà ed adoperando anche dischi di vetro, di cristallo di rocca, di marmo nero, d'alabastro e simili. Si ha pure svolgimento d'elettrico applicando sul taffettà il palmo della mano ed anche qualche altra materia un molle. Questa maniera d'eccitare l'elettrico non appartiene alla pressione in quanto che non si ha più sviluppo sensibile d'elettrico, quando il taffettà o la tela sono asciutti ed hanno perduto la loro viscosità o proprietà glutinosa, per cui non si attaccano al disco che loro si sovrappone. È necessario dunque che nella separazione dei due corpi succeda una specie di laceramento delle parti strettamente congiunte, da cui ha nascimento lo squilibrio elettrico. Dagli esempi addotti si scorge che il metodo di laceramento e di sfaldatura per eccitare l'elettrico ne formano un solo.

1325. Un altro mezzo meccanico, che partecipa del laceramento e dello strofinio, è l'*abrasione*, ed era naturale il supporre che con essa si avrebbe avuto svolgimento di elettrico. Volta raschiando un corpo con un coltello od altro stromento e ricevendone le particelle che se distaccavano sopra un bacino isolato, trovò che queste come la massa rimanente davano segni manifesti di elettricità all'elettrometro (2). I legni, le ossa, l'allume, il gesso cristallizzato, lo zucchero e parecchi sali, come pure la cera, il sego, il cioccolato, la canfora, il marmo

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XXII del 1823.
(2) *Collezione delle opere ecc.* t. I, parte 2ª, pag. 259.

e diverse pietre, i mattoni e molti altri corpi diedero a Volta segni elettrici, talvolta con scintilla, trattati col metodo indicato.

La *frattura* operata col macinatoio da caffè induce egualmente nei corpi lo stato elettrico. Ponendo del caffè abbrustolito nel macinatoio e raccogliendone la polvere sopra il collettore del condensatore ed anche sul cappello dell'elettrometro a pagliuzze, si hanno dei segni che ordinariamente sono d'elettricità positiva. Lo stesso effetto si ottiene dai ceci, dai piselli, dalle lenti, dai fagiuoli, come pure dall'orzo, dal frumento e da altri grani abbrustoliti. Questo mezzo meccanico d'eccitare l'elettrico ha molto somiglianza col laceramento e partecipa dello stropicciamento.

1324. *L'azione del calorico*, esercitata su parecchi corpi, ossia il *cambiamento di temperatura* da un lato in confronto dell'altro costituisce pure un mezzo con cui si svolge l'elettrico naturale alle molecole della materia. Si presta egregiamente per questi fenomeni la tormalina, la quale merita d'essere considerata in primo luogo per la facilità con cui si elettrizza e per essere stata il punto di partenza da cui s'incominciò a riconoscere questo metodo d'eccitamento dell'elettrico. La tormalina è una pietra di colore ora rossigno, ora verde bruno, ora aranciato ed ora bianco, che si elettrizza più o meno pel calore secondo le sue varietà. Questo minerale si rinviene nelle montagne primitive di molti paesi del globo, e per lo passato si credeva che fosse una specie di calamita, quando nell'anno 1757 venne riconosciuta da Epino e da Wilke come corpo elettrico. Presso di noi si trova nei monti del S. Gottardo, del Tirolo e dell'isola d'Elba, e il distinto naturalista Pino chiamò la prima varietà scerlo elettrico.

Si dà alla tormalina la forma di prisma o di cilindro più o meno lungo della grossezza di 2 in 3 millimetri, si prende per un'estremità con una pinzetta d'acciaio munita di manico di legno, e la si avvicina dall'altra ai carboni ardenti. Il calorico, investendo la tormalina da un lato, sembra che ne respinga l'elettrico naturale verso l'opposto; giacchè in questo si rinviene elettrizzata in difetto ed all'altro in eccesso. Si ottiene pure l'effetto riscaldando la tormalina alla fiamma della lucerna ad alcoole ed eziandio tuffandola per un capo nell'acqua bollente. I due stati elettrici opposti, situati l'uno a rincontro dell'altro, costituiscono due parti che si distinguono col nome di *poli* della tormalina, la quale ha quindi il *polo positivo* e il *polo negativo*. L'elettricità si sviluppa d'ordinario alla temperatura superiore ai 43°C, e l'azione continuata del calorico ne accresce sino ad un certo punto l'intensità. Si giunge però al limite in cui l'aumento di calore incomincia

ad infievolirla gradatamente, sinchè, continuando il riscaldamento, lo stato elettrico scomparisce del tutto. Avviene sovente che la tormalina si trova in quest'ultimo stato, quando la si ritira dal fuoco, ed allora nel raffreddarsi a poco a poco, giunge da se medesima alla temperatura, che costituisce il massimo grado d'elettricità. A misura che il calore va diminuendo, lo stato elettrico diventa sempre minore, sinchè il corpo riacquista lo stato naturale. Si danno delle circostanze particolari per le quali la variazione di calore prodotta dall'atmosfera o dai corpi circostanti è capace di far nascere la polarità elettrica nella tormalina.

Raffreddando un'estremità della tormalina ad 8 in 10 ed anche 12 gradi sotto lo zero, le si dà pure la polarità elettrica, prendendo la parte raffreddata lo stato positivo; talchè quella che ha maggior temperatura è negativa e si hanno i poli invertiti relativamente alla maniera d'operare e non in riguardo al calore. Col raffreddamento si giunge ad un grado in cui l'elettricità ha la massima energia, al di là del quale s'infievolisce. Se dopo aver dato col riscaldamento ad un lato la polarità negativa, si raffreddi la tormalina gradatamente dal lato medesimo sino a giungere ad alcuni gradi sotto lo zero, incomincia la sua elettricità a venire meno, poscia diventa nulla, indi ricompariscono i poli in ordine inverso. In questi cambiamenti di polarità al variare la temperatura, accade talvolta che, al momento prossimo allo sviluppo dell'elettricità per raffreddamento, i poli della tormalina sono tutti e due positivi nello stesso tempo. Il fenomeno è prodotto dal ritardo dell'altra estremità a passare allo stato elettrico opposto in causa della coibenza del minerale.

Non vi ha bisogno, come fa Haüy, di dare il nome di *elettricità ordinaria* a quella che acquista la tormalina in virtù del riscaldamento e di *elettricità straordinaria* all'altra che nasce nel raffreddamento; giacchè in ambidue i casi è sempre l'estremità a maggior temperatura che è negativa. Il grado di calore, al quale i suoi poli s'invertono, varia come è naturale, secondo la stagione ossia secondo la temperatura dell'atmosfera. Alle volte basta il calore delle dita per dare alla tormalina la proprietà elettrica.

La proprietà d'elettrizzarsi pel calore si riscontra in molti altri cristalli e corpi della natura, quantunque sotto diverse circostanze: il topazio del Brasile, l'ossido di zinco cristallizzato, il borato di magnesia, alcune pietre dure e parecchi cristalli sono di tal numero. Secondo Haüy i cristalli elettrici pel calore si discostano molto dalle forme regolari, che generalmente caratterizzano questi corpi; talchè

le parti dove risiedono i poli diversificano nella struttura e configurazione, e le facce disposte intorno al polo positivo variano nel numero e nella figura da quelle poste al polo negativo (1). Il numero dei minerali elettrici venne di molto esteso dalle indagini di Brewster (2). Egli si serviva di piccolissimi pezzi di pelle colo animale ben disseccati come pure dell'elettroscopio ad ago per iscoprire coll'attrazione il levissimo grado d'elettricità che si svolgeva da molti corpi naturali e da cristalli artificiali in virtù del calore. Il tartrato di potassa e soda e l'acido tartarico sono elettrici pel calore in eminente grado. Hankel nell'esaminare la specie d'elettricità, che prendono i cristalli, si serviva dell'elettroscopio a pila, e contemporaneamente determinava la temperatura necessaria allo svolgimento della medesima. Egli in tal modo ha trovato che l'acido tartarico possedeva un'elettricità assai forte quando il termometro segnava 37 in 38°.C., mentre a 46° in 47° era assai debole (3).

1323. Per istituire simili sperienze serve nella scuola comodamente la tormalina. Dopo aver dato lo stato elettrico a questo minerale, esso attrae la pallottolina dell'elettroscopio a pendolo e di quello ad ago (§. 1248), come pure i minuzzoli di materia e la cenere al pari del cilindro di vetro e di ceralacca stropicciati (§. 1215). Questi piccoli corpi così attratti si mettono a combaciamento della tormalina e vi restano non di rado aderenti, non potendosi per la coibenza di questa essere loro comunicata l'elettricità, ridurli allo stato omologo e repellerli. Tuttavolta avviene spesso che alcuni minuzzoli, tosto che hanno toccato la tormalina, ne sono respinti pel contatto di qualche parte della conduttrice ferruginosa o d'altra materia conduttrice alla superficie del minerale, vengono elettrizzati omologamente e quindi respinti. I due stati opposti poi si mostrano caricando d'elettricità nota la pallottolina di questi elettrometri, oppure coll'ago di spato islandico (§. 1321). Le sperienze colla tormalina hanno il vantaggio di riuscire bene anche durante i tempi umidi in causa della sua coibenza, per cui l'elettrico squilibrato in virtù del calorico nell'interno della massa resta in salvo d'ogni influenza esterna. Si osservi altresì che gli stati elettrici si estendono con digradazione dalle estremità verso il mezzo del cilindro del minerale, per cui ogni frantume è fornito di poli elettrici al pari dell'intera massa.

(1) *Traité élémentaire de physique par Haüy*. Parigi 1821, t. I, pag. 306.
(2) *Edimburgh Journal of sciences*, fascicolo d'ottobre del 1824, pag. 208.
(3) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 1ª serie, t. II, pag. 131.

Sospendendo la tormalina orizzontalmente ad un filo di seta, si può istituire l'esperimento in una maniera più comoda e più variata. Essendo il cilindretto così disposto, si accosti all'una od all'altra estremità un corpo elettrizzato, e vi sarà ripulsione od attrazione secondo che gli stati elettrici sono omologhi o contrarii, e il cilindretto girerà, sull'asse che passa pel filo, in uno o nell'opposto verso. Con un bastoncino di cera-spagna si avranno dei fenomeni inversi di quelli che si ottengono con un cilindro di vetro l'uno e l'altro stropicciati col pannolano. Avendo una seconda tormalina pure in istato elettrico, che si presenta all'altra sospeso, si potrà verificare la legge delle attrazioni e ripulsioni elettriche (§. 1241). Anzi per rendere le sperienze di maggior interesse, la tormalina si è resa mobile con un apparato apposito (fig. 323), il quale si compone d'una colonnetta d'ottone *ab* terminata superiormente nella punta d'acciaio *b*, e d'una lamina *mn* dello stesso metallo piegata a squadra alle due estremità con due cavità. La lamina riposa in bilico per mezzo di un cappelletto di pietra dura sulla punta d'acciaio e prende sempre la posizione orizzontale in virtù dei contrappesi *e*, *f*, che ne abbassano il centro di gravità. la tormalina destinata all'esperimento si colloca entro le due cavità, dopo essere stata elettrizzata all azione del fuoco. Si presenta ad un suo polo quello d'altra tormalina e, quando sono omonomi, il primo ne è respinto facendo una mezza rivoluzione ed attratto il polo eteronomo. Si hanno così i fenomeni di attrazione e di ripulsione, al pari d'una calamita sull'ago magnetico, come vedremo nel seguente capitolo. Il fenomeno, che si ottiene dalle due tormaline elettrizzate pel calore, era per l'addietro l'unico punto d'analogia fra l'elettricità e il magnetismo.

1326. La boracite, senza veruna traccia di cristallizzazione, presenta un fenomeno singolare di elettricità promossa dal calore. Riscaldando sopra una lamina metallica della polvere assai fina di quel minerale, si vedono parecchie particelle attrarsi fra loro ed alcune repellersi per essere attratte da altre. La polvere della boracite cristallizzata si comporta egualmente (1). Da ciò si ricava che la cristallizzazione non è una condizione essenziale alla piroelettricità, e che la polarità elettrica d'un corpo è comune ai suoi frammenti i più minuti.

Appartengono a questa categoria i seguenti fenomeni: due lamine di sovero, che si ottengono tagliando in mezzo un pezzo di questa materia, si elettrizzano premendole l'una contro l'altra dopo aver

(1) *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, seconda serie, t. II, pag. 165.

previamente riscaldata una delle medesime. Se si lasciano all'eguale temperatura il fenomeno non succede, talchè la pressione serve soltanto al miglior combaciamento delle due lamine e non è causa diretta dello svolgimento dell'elettrico. Avviene egualmente operando con due lamine di spato islandico e con altri corpi.

L'elettrico è aggregato a le molecole dei corpi e nello stato ordinario sta in essi latente senza dar segni della sua presenza. È mestieri, come si è veduto, qualche forza per svolgerlo e renderlo libero. Ora si domanda se quel fluido, aumentando la densità, si sprema dai corpi nello stesso modo che si rende sensibile il calorico (§. 1147). I seguenti fatti possono essere interpretati sotto tal punto di vista. Si prenda un vaso conico di metallo sostenuto da un piede isolatore e vi si versi del solfo liquefatto. Mentre questa materia si raffredda e si riconsolida si attacchi al centro un cilindro di vetro, col quale si solleva il pezzo conico di solfo, che presentandolo al condensatore, si trova elettrizzato. Egualmente succede colla cera di Spagna, col cioccolato, coll'acido fosforico, come pure col protocloruro di mercurio, allorquando si leva dal matraccio ove è stato sublimato. L'esperienza si può istituire anche con un cucchiaio tenuto con qualche materia coibente, lasciando solidificare in esso la materia liquefatta. Donde nasce una tale elettricità? È dessa prodotta dal fluido lasciato libero nel raffreddarsi e nel condensarsi della materia? Alcuni vogliono considerare l'elettricità, che si sviluppa in questi casi, come prodotta in una maniera somigliante a quella della sfaldatura (§. 1522). Dalla prima maniera di spiegare il fenomeno risulterebbe come conseguenza l'elettricità positiva riscontrata da Grotthus nel congelamento dell'acqua e quella negativa nella liquefazione del ghiaccio, posti i due corpi in una bottiglia di Leida (1). Lo stesso si dica dell'elettricità ottenuta da Davy nella formazione e nella condensazione dei vapori di mercurio nel vuoto (2). Wilson nel riconsolidamento del solfo, non lo trovava elettrizzato se lo collocava sopra un corpo conduttore, ma fuso in vasi di vetro, rinvenne tanto il solfo che il vetro elettrizzati. Versò anche quel corpo come pure la cera di Spagna liquefatti in vasi di metallo e di legno secco e li ritrovò elettrizzati (3). Questi fatti ad

(1) *Bulletin* di Ferrussac, t. III, 1825, pag. 361 e *Revue Européenne*, fascicolo di novembre del 1824.

(2) *Annales de chimie et de physique*, seconda serie, t. XX, pag. 175.

(3) *Histoire de l'électricité* par Priestley, tradotta dall'inglese. Parigi 1771, t. 1, pag. 421 e seguenti.

ogni modo, senza essere ammessi come verità inconcusse nella scienza, meritano d'essere sottoposti a nuove prove ed a diligente esame.

1327. Col *calorico* oscuro e luminoso si producono eziandio delle correnti elettriche per circuiti compiuti formati di metalli. L'azione del *magnetismo* induce egualmente nei corpi delle correnti elettriche. Questi fenomeni appartengono all'elettricità dinamica al pari delle correnti indotte in fili metallici dall'influenza dell'elettrico medesimo, mentre l'attuazione prodotta dalla presenza di corpi allo *stato elettrico* appartiene all'elettricità statica (§. 1271)

Non solo con mezzi meccanici e con forze fisiche si rende libero l'elettrico nella materia ponderabile, ma uno dei mezzi più generalmente impiegati dalla natura, per ismuovere quel mirabile fluido, è l'*azione chimica*. Sin dal trascorso secolo Volta fece alcune sperienze assai importanti su questo soggetto in presenza di Lavoisier e Laplace, colle quali fu il primo a dimostrare, coll'aiuto del condensatore, lo svolgimento dell'elettrico mediante le azioni chimiche (1) D'altronde Volta sino dall'anno 1769 riteneva l'azione chimica come sorgente d'elettrico (2), e lo sviluppo, che ne riscontrava nel cimentare i metalli arroventati e l'acqua, era attribuito dal celebre fisico italiano all'azione chimica, dicendo *essere certo che il fenomeno tiene alla natura di questi metalli calcinabili* (ossidabili) *dall'acqua, incorporandosi in parte, non già all'evaporazione come tale* (3) Il fatto stabilito da Volta rimase infecondo per parecchi anni, sinché nel corrente secolo fu origine d'una numerosa serie di fenomeni appartenenti all'elettricità dinamica, e di alcuni a quella statica, di cui qui tosto ci occuperemo. Si hanno altresì fenomeni d'elettricità statica dalla semplice *adesione* e d'elettricità dinamica dall'*azione capillare*, dei quali ci occuperemo nella seguente sezione.

1328 Tutti i mezzi sinora conosciuti per eccitare l'elettricità conducono a stabilire che vi ha squilibrio di fluido naturale ai corpi da un lato si presenta lo stato in eccesso e dall'altro in difetto d'elettrico. Nell'azione chimica delle materie le une sulle altre succede pure questo squilibrio, ma non è così facile di conservarlo per ren-

(1) Vedi l'*Histoire de l'Academie des sciences de Paris* del 1782 Volta istituì questa sperienza alla presenza dei dotti nominati nell'aprile del 1782, e furono da lui ripetute a Londra nello stesso anno, cui assistevano Bennet, Magellan, Cavallo, Kirwan e Walker Si vegga la *Collezione delle opere* di Volta, t. I, parte 1ª, pag. 240 e 270

(2) *Collezione delle opere* ecc., t. I, parte 1ª, pag. 22-25.

(3) *Collezione* suddetta, t. I, parte 2ª, pag. 224-225.

dere manifesta la tensione elettrica. All'atto della combinazione o de la mescolanza prodotta dall'azione chimica, avviene bensì lo squilibrio elettrico, ma il fluido si diffonde e ritorna ben tosto a distribuirsi uniformemente nella materia in causa dell'altro principio, della tendenza cioè che ha di espandersi sui corpi capaci di condurlo. L'elettrico quindi, eccitato colle azioni chimiche, non diventa sensibile agli elettrometri se non in particolari circostanze, cioè in alcune decomposizioni e separazioni delle sostanze che formano i corpi. Nell'azione chimica d'un acido sopra un metallo, il primo si elettrizza in eccesso ed il secondo in difetto, ma a questo squilibrio succede, per la conducibilità dei due corpi, immantinenti l'equilibrio. Bisogna quindi nell'istante istesso del conflitto chimico separare le sostanze risultanti dal conflitto medesimo, onde avere i segni dell'elettricità in eccesso nell'una e in difetto nell'altra. La necessità della subitanea separazione dei corpi, fra i quali si eccita l'elettrico quando sono conduttori, si è veduta nello stropicciamento del vapore contro i metalli della macchina idroelettrica (§ 1229).

Pouillet nel 1825 ha ripreso e variato le sperienze di Volta (1), al qual fine è necessario d'essere proveduto d'un elettrometro condensatore e d'un *crogiuoletto* o vasellino di platino ed anche d'altro metallo per disporlo isolato in comunicazione collo strumento elettroscopico. Per riconoscere tosto la specie di elettricità che si sviluppa nell'uno o nell'altro corpo per la loro azione chimica, io ho trovato comodo di servirmi dell'elettroscopio a pila nelle mie indagini sulla corrente elettrica (2), di cui parleremo più avanti. Volta metteva in comunicazione il collettore del condensatore col vaso isolato, dove faceva bollire dell'acqua di fonte, cui univa delle materie atte ad eccitare effervescenza in virtù di combinazione chimica. Il vapore portava con se l'elettrico disgregato dalla materia ponderabile in virtù dell'azione chimica e il vaso dava segni d'elettricità negativa.

Pouillet riscaldava il crogiuoletto di platino a 40, a 50 gradi C, ed anche al calore rosso ed al rosso chiaro. Il vasellino era collocato sopra un disco od anello in esatta comunicazione col condensatore, il cui piatto attuante si congiungeva col suolo. Introduceva poscia nel crogiuolo alcune gocce di soluzione, debole o concentrata,

(1) *Nouveau Bulletin des sciences de la Societe Philomatique*, fascicolo di luglio del 1825, pag. 100, come pure gli *Annales de physique et de chimie*, 2ª serie, t. XXXV, pag. 403; e t. XXXVI, pag. 5.

(2) Vedi gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXIV, pag. 11 e seguenti.

**di soda, di potassa, di barite, di stronziana e simili, a quella temperatura il liquido solvente evapora e si separa dalle molecole della materia sciolta. L'evaporazione è lenta o rapida secondo la temperatura del crogiuolo, e in questi casi il condensatore dà segni d'elettricità positiva. Il vapore perciò si distacca in istato elettrico negativo. La carica riesce talvolta sensibile all'elettrometro senza bisogno dell'attuazione. Versando invece nel crogiuolo qualche soluzione salina od acida, si hanno segni d'elettricità positiva al condensatore. Il sal comune è stato sottoposto pure all'esperienza ed ha dato risultati analoghi. Pouillet ha istituito delle sperienze consimili con crogiuoli d'argento, di ferro e di rame, nei quali versava le diverse soluzioni alcaline, acide, saline e di altre sostanze. Quando si opera con vasi formati di materie intaccabile dai liquidi, succedono dei fenomeni composti, risultanti dalla separazione degli elementi della soluzione e dall'azione chimica della soluzione stessa sul metallo.

1329. La *combustione*, come operazione chimica (§. 1175), deve pure dar luogo a sviluppo d'elettrico. Volta in un caldano isolato, in comunicazione col condensatore, faceva ardere dei carboni che spruzzava d'acqua per rendere più attiva la combustione (§. 1183), ed anche per certe sue vedute particolari, di cui parleremo. Durante questa azione chimica si manifestano segni di elettricità negativa, che Volta ebbe anche positivi dall'aria stessa dove ardevano i carboni senza fumo e senza fiamma.

Per togliere l'influenza delle circostanze, che possono rendere equivoci i risultamenti, è meglio istituire l'esperimento nella maniera seguente: Si pone un cilindro di carbone verticalmente sopra una lamina metallica in comunicazione col suolo, dove abbrucia. Nella combustione s'innalza del gas acido carbonico che viene a contatto colla lamina metallica congiunta al collettore. Dopo alcuni istanti si tolgono le comunicazioni, si separano i piatti del condensatore e le foglietta divergono per elettricità positiva. S'istituisce l'esperienza inversa collocando il cilindro di carbone sulla lamina congiunta al collettore, e l'elettrometro dà segni d'elettricità negativa. Si può avvivare in ogni caso la combustione con correnti d'aria promosse dal soffietto o col puro ossigeno contenuto in una vescica. Ad ogni modo bisogna mantenere la combustione alla base superiore del cilindro di carbone ed impedire che si faccia sulla superficie laterale del medesimo, perchè il gas acido carbonico esalato agirebbe sulla lamina metallica dove riposa ed altererebbe i risultati dell'esperienza.

La fiamma verticale d'idrogeno si diriga in vicinanza d'una piccola

spirale di platino congiunto al collettore e pendente a certa distanza, mentre il piatto attuante comunica col suolo. In questa combustione si hanno pure segni d'elettricità positiva. La fiamma deve essere molto vicina alla spirale, giacchè questa si elettrizza negativamente quando la distanza sia di 8 in 10 millimetri. S'innalzi verticalmente sul collettore la spirale in comunicazione col medesimo, e si diriga la fiamma pel dissotto in modo che la inviluppi. In questo caso si ottengono segni elettrici negativi. Il tubo pel quale esce il gas infiammabile è bene che sia di vetro, e il getto infiammato nel secondo caso molto celere, affinchè la spirale venga a contatto colla parte interna della fiamma e non senta l'influenza del gas acido carbonico che si esala. Pouillet ha istituito sperienze consimili colla fiamma d'alcoole, d'etere, di fosforo, di solfo, di corpi grassi e materie vegetali e colla combustione di metalli, e tutte concorrono a provare che le sostanze aeriformi, abbruciando, sviluppano dell'elettrico quando si combinano fra loro o con corpi solidi e liquidi. In tutte queste combinazioni l'ossigeno prende lo stato positivo e il combustibile il negativo.

1330. Le piante e i vegetali assorbono dall'atmosfera il gas acido carbonico che sotto date circostanze depongono, e ne esalano l'ossigeno. Era dunque presumibile che nella *vegetazione* dovesse aver luogo uno sviluppo d'elettrico, il che venne confermato dall'esperienza. Pouillet preparò dodici cassule di vetro verniciate esternamente e le dispose sopra una lastra di vetro, pure verniciata, in una stanza, avendone disseccata l'aria con calce viva per renderla meglio coibente. Riempì queste cassule di buona terra, dove sparse alcuni semi, e le congiunse fra loro con fili metallici ed una delle estreme col collettore del condensatore, mentre il piatto attuante comunicava col suolo. Lasciò il tutto per parecchi giorni in tale stato, esplorando più volte al giorno lo stato elettrico del condensatore, e trovò in tal modo che durante la vegetazione si sviluppa dell'elettrico. Sinchè il germe rimane sotto terra non si riscontrano segni elettrici, che incominciano soltanto a manifestarsi quando esso sorge nell'atmosfera in guisa che, dopo essere la vegetazione bene sviluppata, si raccolgono al condensatore delle tensioni elettriche, che fanno divergere l'elettrometro a foglietta di 11 sino a 13 millimetri. Si calcola che, sulla superficie di 100 metri quadrati d'una vegetazione rigogliosa, si sviluppi in un giorno maggior quantità d'elettricità positiva di quella si richiederebbe per caricare la più grande batteria di Leida.

1331. Il fluido elettrico, tosto che cessa la forza per cui è stato eccitato e squilibrato, tende a ricomporsi in equilibrio trascorrendo

più o meno celeremente lungo i corpi secondo la loro facoltà conduttrice. Avanti di far conoscere le sperienze con cui si è determinata la velocità dell'elettrico, importa che ci occupiamo della conducibilità e dei metodi usati per determinarla nei diversi corpi, a compimento della classificazione fatta al principio del capitolo (§. 1214). Se la tensione è molto debole e il conduttore assai imperfetto, l'elettrico si ricompone in equilibrio con moto lento, come se ne hanno delle prove nella dissipazione di quel fluido lungo gl'isolatori (§ 1288); ma pei buoni conduttori come i metalli, la velocità dell'elettrico è enormemente grande e non inferiore a quella del fluido luminoso (§ 741).

Priestley mise a confronto la conducibilità di alcuni metalli, sottoponendone due per volta alla scarica di forti batterie di Leida (1). Egli riunì primieramente per l'estremità un sottile filo di ferro con altro di rame d'egual diametro, pei quali fece passare la scarica della batteria: il primo venne totalmente fuso e disperso ed il secondo rimase intatto, da cui si deduce che il rame è migliore conduttore del ferro. Questa conseguenza è fondata sul principio che lo sviluppo del calorico dai corpi, per dove percorre il torrente elettrico, risulta tanto più grande quanto più sono cattivi conduttori di questo fluido, come esamineremo in seguito. Trovò nell'egual modo che l'ottone è stato volatilizzato sotto scariche cui ha resistito il rame, e che il ferro venne disperso con iscariche da cui non fu intaccato l'ottone. Parimenti con indagini consimili giunse ad ottenere delle cariche, per l'azione delle quali fuse il rame, rimanendo intatto l'oro e l'argento con cui era accoppiato, e così rimase l'oro quando fu disperso l'argento. Dai risultati di tali sperimenti Priestley dedusse la conducibilità dei metalli i più noti secondo l'ordine decrescente: *oro, argento, rame, ottone* e *ferro*. Egli osserva altresì che l'uncino di congiunzione del filo d'argento è stato fuso quando il filo di rame venne disperso, e così dell'oro per rispetto all'argento. Mise altresì a confronto lo *stagno* col *piombo* e trovò che il primo è più conduttore del secondo metallo.

Si potrebbe avere una idea della più o meno grande conducibilità dei corpi, configurandoli in cilindri d'eguale grossezza e lunghezza, ed osservando a quale distanza con ciascuno di essi si ha la scintilla dal conduttore della machina caricato ad eguale tensione. Da quanto

(1) *Histoire de l'électricité* di Priestley, tradotta dall'inglese Parigi 1771, t. III pag. 454.

conosciamo intorno alla scarica a distanza è chiaro che quanto più il cilindro sarà conduttore a tanto maggiore distanza si otterrà la scintilla (§ 1290). I due metodi non sono atti a fornirci dei rapporti numerici esatti del diverso grado di conducibilità dei corpi per l'elettrico; ma solo a farci conoscere in una maniera generale che il tal corpo è più o meno conduttore d'un altro.

1332 Sapendosi che i corpi percorsi dall'elettrico si riscaldano, Harris ha supposto che questo riscaldamento, a pari circostanze, sia in ragione inversa della loro conducibilità, e secondo questo principio ne ha stabilito il grado riducendoli in sottili fili d'eguale grossezza Per misurare i gradi di riscaldamento del corpo si serviva d'un apparato somigliante al termometro di Galilei (fig 208), il cui bulbo era un globo del diametro di circa 7 centimetri munito di due tubulature diametralmente opposte Distendeva per esse il filo attraverso il globetto e vi faceva transitare la scarica elettrica, osservando i gradi di riscaldamento dell'aria dal movimento della colonna liquida nel tubo. Operando sempre coll'eguale carica sopra fili di differenti metalli della medesima grossezza e lunghezza, Harris trovò i gradi di calore esposti nella 1a colonna del seguente quadro, essendo nella 2a notati i rapporti di conducibilità nella supposizione che siano in ragione inversa del riscaldamento ed espresso con 100 quello del rame. Le leghe sono fatte di parti eguali in peso e il diametro dei fili, in due serie d'esperienze da lui istituite, ha variato da millimetri 0,64 a millimetri 0,32 (da $^1/_{40}$ ad $^1/_{80}$ di pollice)

	Calore	*Conducibilità*
Rame	**6°**	**100,00**
Argento	**6**	**100,00**
Oro	**9**	**66,66**
Zinco	**18**	**33,33**
Platino	**30**	**20,00**
Ferro	**30**	**20,00**
Stagno	**36**	**16,66**
Piombo	**72**	**8,33**
Ottone	**18**	**33,33**
Lega di rame ed oro	**20**	**30,00**
— di rame ed argento	**6**	**100,00**
— d'oro ed argento	**20**	**30,00**
— di stagno e piombo	**51**	**11,76**
— di stagno e zinco	**27**	**25,93**

La conducibilità del rame per l'elettrico sarebbe eguale dunque a quella dell'argento, mentre l'oro ne avrebbe soltanto i due terzi. I risultati di Priestley darebbero invece all'oro maggior facoltà conduttrice dell'argento e del rame. Questa discrepanza mostra che i due metodi non sono abbastanza esatti e che il calore, ingenerato nei corpi dal trascorrimento dell'elettrico, non segue la ragion inversa semplice della loro conducibilità. Riess valuta la conducibilità dei corpi semicoibenti osservando la prontezza con cui scaricano l'elettroscopio (1).

La conducibilità dei metalli per l'elettrico diminuisce coll'elevazione di temperatura, e si suol dire che la resistenza al passaggio aumenta a misura che si riscaldano. Imperocchè si è convenuto di chiamare *resistenza al passaggio* e *potere conduttore* due quantità l'una inversa dell'altra, il cui prodotto è costante. La resistenza al passaggio varia fra i limiti della temperatura zero e 100° nel rapporto di 10 ad 11 pel mercurio, di 10 a 16 per lo stagno, e per gli altri metalli in rapporti intermedii fra questi due limiti.

1333. Parecchi altri fisici si sono occupati della conducibilità dei corpi per l'elettrico. Le loro indagini però risguardano l'elettricità dinamica, dove la corrente trascorre per tutta la massa del filo conduttore, mentre, in riguardo all'elettricità di tensione, pare che il fluido transiti soltanto sulla superficie dei corpi. Osserviamo altresì che nelle indagini dinamiche l'energia della corrente è misurata da uno strumento apposito dipendente da altri principii, che apprenderemo. Riportiamo intanto che, secondo Pouillet, il miglior conduttore dell'elettrico in corrente sarebbe l'argento quasi puro, cui tosto terrebbe dietro il rame, risultando l'oro qualche cosa di più di 0,72 dell'argento, mentre il platino non giungerebbe a 0,12; l'ottone a 0,27 ed il ferro di 0,14. Becquerel al contrario ha trovato a capo dei migliori conduttori il rame, di cui l'argento sarebbe 0,74, l'oro 0,94, il platino 0,17, il ferro e lo stagno 0,16, il piombo poco più di 0,08, e il mercurio meno della metà del piombo. Davy mette pure alla testa dei conduttori l'argento, cui fa seguire a poca distanza il rame. Lo stagno e il platino avrebbero, secondo lui, rispettivamente 0,18 e 0,17, l'oro 0,67, il piombo 0,63 e il ferro 0,14. Alcuni di questi risultati differiscono da quelli precedenti: il piombo, secondo Davy, risulterebbe più conduttore del ferro, quando è all'inverso secondo altri fisici. Ohm mette pel primo il rame, pel secondo l'oro, e per

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xx, pag. 104.

terzo l'argento; indi per ordine lo zinco, l'ottone, il ferro, il platino, lo stagno ed il piombo, essendo il rame dieci volte e mezzo più conduttore del piombo (1). La conducibilità delle leghe è minore di quella risultante dalle conducibilità dei singoli metalli, di cui si compongono: la lega d'oro di $^3/_4$ di fine sarebbe, secondo Pouillet, non più di 0,13, e quindi molto minore della risultante dalle conducibilità proprie all'oro puro ed al rame. Parimenti l'ottone ha una conducibilità minore di quella risultante dalle due del rame e dello zinco.

1334 Marianini ha istituito delle indagini sulla conducibilità dei liquidi percorsi dalla corrente elettrica (2). Lenz si è pure occupato di questo intricato soggetto, limitandosi a far conoscere le viste, da cui è stato guidato nel suo lavoro senza pubblicarne i risultati (3). Sin dall'anno 1840 io aveva proposto al Congresso di Torino il metodo differenziale per determinare i rapporti numerici della conducibilità dei liquidi per l'elettrico, servendomi del mio *galvanometro universale* (4), che impareremo a conoscere nella seguente sezione. Hankel mise in pratica molto tempo dopo lo stesso metodo per valutare l'influenza del calore sulla conducibilità dei liquidi (5), la quale, al contrario dei metalli, aumenta coll'innalzamento della temperatura. Edmondo Becquerel fa dipendere la conducibilità dei liquidi in alcuni casi dall'intensità delle correnti (6), il che è contraddetto dalle sperienze di Marié Davy, mostrando l'errore in cui cade il fisico francese(7).

In questa divergenza di metodi e d'opinioni sono generalmente adottati pei liquidi i rapporti di conducibilità determinati da Marianini, il quale, rappresentando con 1 la facoltà conduttrice dell'acqua distillata a pochi gradi sopra lo zero, ha trovato quella dell'acqua di mare espressa da 100 come era stato assegnato già da Cavendish, e quelle di soluzioni, composte di 100 parti in peso d'acqua ed 1 di sostanza solubile, dai numeri seguenti

Ammoniaca liquida . .	26,45	Solfato di zinco . . .	31,64
Soda	32,60	Potassa . . .	58,68

(1) *Journal fur Chemie und Phisik*, t. XIV, pag. 110 e 245.

(2) *Saggio di sperienze elettrometriche* Venezia 1825, pag. 107

(3) *Annali di fisica* ecc più volte citati, seconda serie, t. I, pag 491

(4) *Atti della seconda Riunione degli Scienziati italiani*. Torino 1841, p.37, ed *Annali* succitati, 1ª serie, t. I, pag. 259.

(5) *Annali* suddetti, t. XXVII, pag. 20.

(6) I medesimi *Annali*, t. XXVI, pag 170, si veggano eziandio il t. XXVII, p.234, e il t. XXVIII, pag. 20.

(7) Lo stesso t. XXVI degli *Annali*, pag. 227.

Protosolfato di ferro . .	62,26	Idroclorato di calce . .	110,00
Carbon. di potassa neutro	66,70	Ossalato di potassa . .	149,00
Carbonato di soda . .	69,20	Acido idroclorico	164,00
Solfato di soda. . . .	74,20	Acido solforico . . .	230,00
Nitrato di potassa. . .	78,30	Solfato di rame . .	238,00
Solfato di potassa .	80,00	Acido nitrico . .	358,00

A questi rapporti di Marianini aggiungiamo che le soluzioni saline possono dividersi in due classi: la prima comprende quelle la cui facoltà conduttrice aumenta col grado di concentrazione sino al punto di saturazione, il solfato di rame e il sal comune sciolti nell'acqua appartengono a questa classe. La seconda contiene le soluzioni dei sali deliquescenti, che si sciolgono in grande quantità nell'acqua e la loro conducibilità aumenta dapprima col grado di concentrazione, giunge ben presto al massimo, poscia diminuisce accrescendo di nuovo la concentrazione. Colle materie di questa seconda classe si può avere quindi una soluzione satura dotata della stessa facoltà conduttrice d'una soluzione assai allungata. Il nitrato di rame ed il solfato di zinco sono di questa specie. Notiamo altresì che la corrente elettrica non può circolare in un liquido senza che questo sia decomposto, come esamineremo in seguito. È per ciò che la resistenza al passaggio deve dipendere da resistenze parziali, alcune delle quali dovute al deposito delle sostanze provenienti dalla decomposizione, altre dovute al cambiamento di omogeneità del circuito. In quanto al rapporto di conducibilità dei liquidi e dei metalli, si calcola che la soluzione meglio conduttrice è un milionesimo dell'argento secondo Becquerel, e la soluzione satura di sal comune la 100 millesima parte del ferro, secondo Cavendish. L'elevazione di temperatura aumenta la conducibilità dei liquidi al contrario dei metalli. Si è determinato un tal aumento per alcuni liquidi, e si è trovato che da zero a 100°, si estende entro i limiti da 1 sino a 3 in 4.

1335. Si ammettono generalmente intorno alla conducibilità per l'elettrico le due leggi: 1° la resistenza al passaggio aumenta proporzionalmente alla lunghezza del conduttore, 2° essa è in ragion inversa della sezione trasversale del conduttore medesimo. La seconda legge è stata dimostrata, come si disse, per le correnti continue; ma, per le scariche dell'elettrico accumulato sui conduttori, sembra che una tal legge non si verifichi e che quel fluido trascorra invece sulla superficie dei corpi e quindi la resistenza al passaggio sia in ragione inversa del contorno e non dell'intiera sezione trasversale. Su

questo importante soggetto possediamo soltanto alcune poche sperienze, che i fisici posteriori non si curarono di moltiplicare in ogni circostanza e supposero, senza consultare l'esperienza, che la conducibilità dei corpi per l'elettrico in corrente continua seguisse le medesime leggi per le scariche di tensione.

Volta intraprese delle sperienze con conduttori imperfetti, e ne cimentò parecchi d'eguale lunghezza, ma di differente larghezza e grossezza, trovò egli che l'elettrico percorreva totalmente o almeno in maggior copia sulla superficie. Osserva altresì che, nelle grandi scariche, l'elettrico solca la faccia dei conduttori e schiva di penetrarne la massa ancorchè discretamente buoni deferenti (1). Nobili, inoltre, in una sua Memoria pubblicata nel 1835, tratta della *superficialità delle scariche*, cercando di ridurre i risultati di Volta al principio generale che *l'elettrico scorre là dove può scaricarsi più facilmente*, per cui è presumibile che, dietro questo principio, l'elettrico libero nel mettersi in equilibrio transiti sulla superficie dei conduttori. Ad ogni modo importerebbe che le sperienze per l'elettricità di tensione si moltiplicassero pei differenti conduttori e con diversi metodi, affine di stabilire definitivamente che le leggi per l'elettricità dinamica non si verificano, in riguardo alla conducibilità, per le scariche dell'elettricità di tensione.

Alcuni hanno osservato che, ammessa la prima legge, la trasmissione dei segnali telegrafici pei fili molto lunghi non potrebbe aver luogo, la quale obbiezione è sciolta da alcune considerazioni di Draper (2), e dalle sperienze di Morse istituite con fili metallici della lunghezza di chilometri 1,5 estesi sino a chilometri 240 (3). Aggiungiamo altresì che i conduttori per l'elettrico sono stati distinti anche in *unipolari* e *bipolari*, di cui faremo parola nella seguente sezione.

1336. Alcuni corpi, composti di qualche materia coibente, conducono l'elettrico secondo lo stato di aggregazione delle loro molecole. Infatti il solfuro d'antimonio in polvere è buon conduttore, che diventa isolatore quando, dopo essere stato fuso, si getti in forme e si raffreddi con rapidità; che se il raffreddamento è lento, si conserva conduttore. Nel primo caso si forma uno strato vitreo, che inviluppa il nucleo cristallino, e nel secondo tutta la massa rimane cristalliz-

(1) *Collezione* ecc. succitata, t. I, parte 2a, pag. 449 e 452.
(2) *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. XVII, pag. 63.
(3) I medesimi *Annali*, t. XVI, pag. 49.

zata. Questo solfuro inoltre quando si produce per via umida è isolatore. Il solfuro d'arsenico cristallizzato è conduttore, per mezzo della fusione diventa isolatore. L'orpimento è isolatore. Il solfuro di zinco ottenuto per via secca è conduttore, mentre per via umida è isolatore. Il solfuro nero di mercurio è buon conduttore, mentre quello rosso ed il nitrato lo sono molto meno. Osserviamo infine che i solfuri di stagno, di rame, di piombo, di bismuto e di ferro sono conduttori preparati tanto per via secca quanto per via umida (1).

I precedenti fatti intorno alla conducibilità dei solfuri sono analoghi ad altri superiormente riportati (§. 1215), ed alcuni distinti fisici, fondandosi sui varii fenomeni della conducibilità, furono condotti a considerazioni teoriche sulla costituzione della materia (2).

1337. Si è veduto che l'elettrico si dissipa alla superficie dei corpi coibenti e molto più facilmente se son rivestiti d'un velo d'umidità (§. 1266). Allorquando la carica è molto grande trascorre sulla loro superficie anche quando sono bene asciutti lasciandovi delle solcature e talvolta gli attraversa fendendoli, come vedremo parlando degli effetti dell'elettrico. Ma se i corpi sono allo stato fluido, ne rimuove le molecole e si fa strada per essi, e si è in tal maniera che succedono le scariche a traverso i liquidi nello stesso modo che avvengono per l'aria (§. 1290). L'aria quanto più è rarefatta, con tanto minore difficoltà si lascia attraversare dalle scariche elettriche. Nella scuola s'istituisce l'esperimento con un recipiente di vetro, il quale superiormente è attraversato da una verga cilindrica di metallo. Rarefacendo l'aria nel recipiente mediante la macchina pneumatica, le scariche elettriche passano per essa tanto più facilmente quanto più è grande la rarefazione.

È ancora questione se il *vuoto* sia conduttore dell'elettrico. Il vuoto torricelliano fatto con due tubi barometrici riuniti in uno solo (fig.324), quando il mercurio non si purghi dell'aria e dell'umidità che tiene aderente, conduce benissimo l'elettrico. Anche il vuoto perfetto è ritenuto da parecchi fisici come ottimo conduttore, adducendo per ragione che l'elettrico deve trovare libero il passaggio, non essendovi più l'aria che ne equilibra la tensione colla ripulsione del fluido alla medesima naturale (§. 1291). Tuttavolta Walsh, Deluc, Morgan ed altri ritengono, all'appoggio di alcune loro sperienze, che il vuoto perfetto non conduca l'elettrico. Davy ha istituito degli sperimenti con mercurio ben

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. II, pag. 111.

(2) Gli stessi *Annali* t. III, pag. 129 e t. XIII, pag. 159.

purgato d'aria e con istagno liquefatto contenuti nel tubo rappresentato dalla fig. 325, lasciando solidificare il metallo dopo fatto il vuoto colla machina pneumatica dal lato della chiavetta, formandosi il vuoto barometrico dal lato opposto. Davy però dubita che, nella seconda maniera di sperimentare, siasi introdotto dell'aria per l'intervallo fra la parete del tubo e lo stagno solidificato (1). In quegli sperimenti l'illustre fisico inglese trovò che il vuoto conduceva l'elettrico. Interesserebbe che questi esperimenti fossero ripetuti con maggiore diligenza e variati in diversi modi per decidere la questione della coibenza del vuoto ammessa dai fisici nominati, la quale a primo aspetto sembra contraria alle idee, che sinora abbiamo delle cariche elettriche sui conduttori isolati. Riflettendo però che l'elettrico si propaga come il calorico repente da molecola a molecola e non per irradiazione come la luce e il calorico in altre circostanze, potrebbe ben darsi che il vuoto perfetto fosse coibente. Ad ogni modo è indubitato che l'aria, a misura che sempre più si rarefà, lascia meglio passare l'elettrico. È appunto per ciò che, a pari circostanze, l'elettrico si dissipa tanto più presto quanto più è calda l'atmosfera, per la ragione che riesce più diradata l'aria. Un vetro elettrizzato, posto alla distanza di 14 in 15 centimetri da un ferro rovente, si scarica in pochi istanti per l'eguale causa.

1338. Con quale velocità l'elettrico, nel mettersi in equilibrio, trascorre sui buoni e cattivi deferenti? È questa la prima domanda che si presenta dopo aver vedute le scariche dei conduttori elettrizzati (§. 1290) e dei coibenti armati (§. 1311), e dopo aver mostrato il grado di conducibilità dei diversi corpi. Pei conduttori imperfetti l'elettrico si propaga con mediocre celerità, e in quelli semicoibenti, come i cilindri di vetro vestiti d'umidità, con una certa lentezza, di cui precedentemente si sono portate delle prove. Ma pei buoni conduttori, quali sono i metalli, la propagazione dell'elettrico succede con velocità estremamente grande, talchè in lunghezze di alcune migliaia di metri, il tempo riesce impercettibile e la propagazione apparisce istantanea. Nella scuola si mostra questa apparente istantaneità di propagazione distendendo parecchie centinaia di filo di rame intorno alle pareti del gabinetto di fisica e dell'aula della scuola in diversi giri senza che l'uno sia a contatto coll'altro, e sostenendolo con cilindretti di vetro verniciati ed infissi nel muro. I capi di questo

(1) La relazione di queste sperienze di Davy è inserita nelle *Transazioni filosofiche* della Società R. di Londra del 1822.

lungo filo giungono in vicinanza di un sostegno isolatore, sul quale riposa una boccia di Leida caricata. Si fissa uno dei capi alla distanza di qualche centimetro dall'armatura esterna dell'apparato di Leida, mentre l'altro, munito di manico coibente, si approssima al bottone. Al momento che ha luogo la scintilla dall'armatura interna si vede contemporaneamente brillare l'altra scintilla di scarica sull'esterna, e l'occhio il più attento non riconosce differenza di tempo sensibile fra l'una e l'altra apparenza luminosa. Da quest'esperimento si apprende di già che l'elettrico si propaga con grandissima velocità, se impiega un tempo impercettibile a percorrere il filo di rame della lunghezza di parecchie centinaia di metri. Si può riunire un capo del filo colla pistola di Volta, che quanto prima impareremo a conoscere, e il capo opposto con altra pistola, ed all'atto della scarica elettrica della boccia di Leida non si scorgerà veruna differenza fra gli scoppi delle due pistole, e il loro rumore farà una sensazione contemporanea sull'organo dell'udito.

1339. Parecchi fisici nel trascorso secolo si occuparono a rintracciare se la propagazione dell'elettrico pei buoni conduttori era istantanea. Le Monnier distese a tale scopo un filo metallico isolato della lunghezza di metri 428 e Watson uno di metri 5742, ed ambidue non giunsero a scorgere differenza di tempo percettibile fra la comparsa della scintilla all'estremità avvicinata al bottone della boccia di Leida e l'effetto prodotto dalla scarica all'estremità opposta o in un punto intermedio del filo (1).

Wheatstone nel 1834 andò ancor più avanti in queste indagini ed imaginò un ingegnoso processo per valutare il tempo impercettibile impiegato dall'elettrico nel percorrere dei lunghi fili metallici (2). Egli associava un doppio specchio di metallo ad un asse di rotazione, cui imprimeva un movimento assai rapido mediante una grande ruota a ingranaggi e ne valutava il numero dei giri fatti in un dato tempo mediante un apposito congegno. Un punto luminoso, veduto per riflessione dalle due facce dello specchio, produceva nell'occhio due archi lucidi in virtù della durata dell'impressione (§ 89). Un tubo di vetro della lunghezza di metri 1,83 (piedi 6), vuoto d'aria e chiuso da emisferi d'ottone, era tenuto a contatto del conduttore d'una forte

(1) Per queste sperienze si vegga *Biblioteca Italiana*, t. XLI, 1836, pag. 235.

(2) La memoria del fisico inglese è inserita nelle *Transazioni filosofiche della R. Società di Londra*, e tradotta molto tempo dopo negli *Archives de l'Électricité*, t. II, pag. 37. Ginevra 1842.

machina elettrica, guardato direttamente brillava nell'interno di luce continua, ma quando si esaminava per riflessione collo specchio si vedeva questa apparente continuità non essere che una serie di rapidi lampi.

Per valutare la velocità di propagazione, prese un filo di rame della lunghezza di circa 800 metri e lo divise nelle due metà A, B (fig. 326), disposte in modo che i quattro capi fossero situati in linea retta parallela allo specchio e formassero, coll'arco scaricatore e col bottone della boccia D caricata dal conduttore C della machina, tre intervalli a, b, c ciascuno di millimetri 2,5 ($^1/_{10}$ di pollice). Facendo ruotare il disco della machina elettrica, balenavano tre scintille fra gl'intervalli a, b, c, che guardate direttamente comparivano simultanee. Si osservarono poscia per riflessione durante la rotazione dello specchio, il cui sistema di ruote a cingoli era tale che, mentre l'asse del medesimo faceva 1800 rivoluzioni, la ruota cui era direttamente impresso il moto ne faceva una sola. In tal maniera egli ha ottenuto nello specchio sino ad 800 giri per minuto secondo. Allorquando la velocità era ancora debole, i punti estremi degli archi lucidi comparivano esattamente sulla medesima retta, ma quando essa era considerabile e lo specchio girava a destra gli archi prendevano l'apparenza ——— ——— ———, mentre girando a sinistra essi si vedevano disposti in quest'altra maniera ——— ——— ———. L'elettrico, nell'abbandonare l'armatura interna della boccia di Leida e nel produrre la scintilla in a, lascia libero lo stato negativo dell'armatura esterna ed obbliga il fluido naturale del filo B a transitare sotto forma di scintilla l'intervallo c ed a portarsi per l'arco scaricatore sull'armatura medesima; e ciò secondo i principii esposti (§. 1311). Laonde le scintille negli intervalli a, c sono contemporanee, mentre l'altra in quello di mezzo b si trova in ritardo, da cui nasce la differenza di origine dell'arco lucido intermedio in confronto dei due estremi.

Facendo lo specchio 800 giri per secondo, l'imagine ne fa nello stesso tempo un numero doppio ossia descrive 1600 circonferenze, per la ragione che questa concepisce un moto doppio di quello (§. 914). Ora la grandezza angolare d'una scintilla eguale a mezzo grado, quantità evidentemente visibile ed eguale nel nostro caso a millimetri 25 (1 pollice) veduta alla distanza di metri 3,05 (10 piedi), indicherà che il tempo della sua esistenza è di $\frac{1}{1152000}$ di secondo; giacchè una circonferenza si compone di 720 mezzi gradi, e 1600 circonferenze sono 1152000 mezzi gradi. Avendo il filo la lunghezza di chilometri 0,8,

la deviazione di mezzo grado fra le due scintille estreme corrisponderebbe alla velocità di 921600 chilometri per secondo. Ma lo squilibrio incomincia simultaneamente dalle due estremità opposte del sistema scaricatore di filo, e le due scintille estreme si mostrano nello stesso istante sulla stessa retta, essendo soltanto quella di mezzo pel ritardo deviata, perciò la velocità misurata è soltanto la metà di quella suespressa ossia di 460800 chilometri per secondo.

Da ciò si apprende che la velocità dell'elettrico per un filo di rame del diametro $^1/_3$ di millimetro, è maggiore di quella della luce negli spazii planetari, essendo quest'ultima soltanto di 310906 chilometri (§. 741). Con altro metodo, soggetto a parecchie obbiezioni, Walker in America trovò nel 1849 che l'elettrico ha soltanto la velocità di 30000 chilometri per secondo. S'istituirono simili osservazioni da altri fisici lungo i fili dei telegrafi, dalle quali risulterebbe la velocità dell'elettrico, in un filo di ferro del diametro di quattro millimetri di 101710 chilometri, e in un filo di rame del diametro di millimetri 2,5, di 177722 chilometri per secondo (1). Ad ogni modo l'elettrico ha una grande velocità, ed è per ciò che si è applicato nella telegrafia per trasmettere a grandi distanze con celerità dei segnali, di cui più avanti parleremo.

1340 L'elettrico dunque trascorre sui corpi cattivi deferenti con lentezza, ma sui metalli come buonissimi conduttori la propagazione succede con enorme velocità Allorquando al torrente elettrico, nel mettersi in equilibrio, si presentino due o più conduttori, si trova che *nella scarica si divide sui medesimi in ragione della conducibilità di cui ciascuno è dotato* Questa legge si dimostra con un apparecchio molto proprio a farci accorti delle minime porzioni del torrente diviso sui diversi cammini, apparecchio che quanto prima impareremo a conoscere Infatti coll'aiuto del medesimo Marianini ha trovato che il torrente della scarica d'una boccia di Leida si distribuiva in proporzione sopra tre cammini di filo metallico, l'uno della lunghezza di metri 0,1, l'altro di metri 2 e il terzo di metri 90, come pure fra due, l'uno di metri 2 e l'altro di metri 1000. Ha trovato altresì che il torrente elettrico si biparlisce percorrendo il filo metallico di metri 2 e transitando in parte anche pel filo metallico di metri 90 interrotto da uno strato d'acqua di pozzo della grossezza di metro 0,03 compreso fra due lamine di piombo d'un centimetro quadrato di superficie Il fisico italiano, da questi e da altri speri

(1) *Annali di fisica* ecc più volte citati seconda serie, t. III, pag 75

menti somiglianti, trae la conseguenza che l'elettrico delle machine a stropicciamento non solo si divide fra due o più cammini fatti di buoni conduttori metallici, quantunque molto differenti in lunghezza, ma eziandio fra due cammini, l'uno tutto metallico e l'altro più lungo formato in parte di conduttori umidi (1).

1341. All'appoggio del precedente principio è facile dar ragione delle seguenti ed altre sperienze, che s'istituiscono nella scuola. Una persona avvolga al suo corpo un filo di rame o d'ottone della grossezza di 2 in 3 millimetri, il quale fa parecchi giri a certa distanza l'uno dall'altro, e ne impugna le estremità: scaricando una boccia ed anche una batteria di Leida, non prova verun effetto sensibile dal torrente elettrico. Si presentano al torrente due cammini, l'uno del filo metallico di 4 in 5 metri di lunghezza, l'altro delle braccia della persona di poco più di un metro: il primo, quantunque più lungo, è circa un milione di volte più conduttore del secondo cammino (§ 1334), talchè la milionesima parte soltanto dell'elettrico transita per le braccia della persona, mentre l'altra porzione passa pel filo metallico.

Due verghe metalliche s'internano l'una in opposizione all'altra a poca distanza fra loro nell'acqua contenuta in un vaso, ed una lista di stagnuola pesca pure nel liquido a certa distanza e comunica col cappello dell'elettrometro a pagliuzze. Nella scarica d'una giara elettrica per le due verghe, comparisce nell'intervallo entro l'acqua la scintilla, mentre una porzione di fluido transita su la superficie del liquido e dà segni all'elettrometro. La persona che tenesse la mano immersa nel liquido proverebbe la scossa. Inoltre, disponendo una rana verso la superficie dell'acqua nell'intervallo delle due verghe, l'animaletto prova pure una forte scossa, che lo tramortisce e gli toglie ben anche la vita se la scarica è grande.

S'incollano sopra una lastra di vetro due liste di stagnuola, l'una distesa in linea retta, e l'altra incurvata in modo che si congiunga colle estremità della prima ed abbia verso il mezzo l'interruzione di qualche millimetro. Scaricando una boccia di Leida da un capo all'altro delle due liste, l'elettrico non solo cammina su quella rettilinea ma si getta in parte sulla curvilinea balenando la scintilla nell'interruzione.

Per mostrare come i conduttori imperfetti siano insufficienti a tradurre una grande piena elettrica, si prescelga una giornata favorevole allo sviluppo dell'elettricità, e si attacchi al conduttore della

(1) *Memorie di fisica sperimentale*, Modena 1858, fascicolo I, pag. 4

macchina una listella di tela o di carta bagnata, che si prolunga sino al suolo. Si metta altresì in comunicazione col conduttore della macchina l'elettrometro a pagliuzze. Girando il disco non si hanno scintille sensibili dal conduttore, ma l'elettrometro dà segni manifesti che l'elettrico sviluppato non si scarica interamente nel suolo per la tela o per la carta. Ma se la comunicazione col terreno umido si pratica mediante grossi fili di metallo, non apparisce all'elettrometro veruno indizio di residuo d'elettrico sul conduttore della macchina.

Da quanto si è esposto emerge il principio stabilito da Volta che l'*elettrico, quando deve attraversare dei conduttori che non sono i migliori e principalmente dei conduttori umidi, ama estendersi in un canale più lungo o a dividersi in parecchi e a prendere anche giri indiretti, trovando in ciò meno resistenza, che a seguire un solo canale, quantunque più corto* (1). Questo principio ora vale anche pei buoni conduttori.

I fenomeni della scarica della boccia di Leida fatta per un circolo di persone, di cui si è altrove parlato (§. 1312), come pure di altri consimili, che si possono combinare, dipendono tutti dal principio precedentemente esposto.

SEZIONE II.

Dell' elettricità dinamica.

1342. **I nostri studi versarono sinora intorno allo sbilancio dell'elettrico, il quale, nel rimettersi in equilibrio, concepisce un celere movimento dirigendosi sul globo e sui corpi che ne sono in difetto e forma così un *torrente di fluido*, che non si deve confondere colla *corrente continua*, di cui è scopo l'elettricità dinamica. Dobbiamo quindi far conoscere altre disposizioni ed altri apparecchi, coi quali l'elettrico, una volta eccitato, si costituisce in corrente, che dura sinchè la forza eccitatrice si conserva in azione. La mutua azione dei corpi eterogenei è un mezzo potente per promuovere l'elettrico in corrente continua (§. 1327), ed ha dato origine alle più luminose scoperte di cui è stata arricchita la scienza nel secolo decimonono per gli studi prestantissimi del celebre italiano Volta. Il complesso dei fenomeni che ne nacquero occupa, per la moltiplicità e la varietà, uno dei posti più distinti nella scienza e ci somministra nell'*elettromotore* o *pila di Volta* un apparecchio non meno importante e prezioso del-**

(1) *Collezione delle opere ecc.*, t. II, parte 2ª, pag. 142.

dell'*elettromotore a stropicciamento* o della machina elettrica comune.

Un vasto campo infatti d'indagini e di ritrovamenti ha offerto ai fisici la scoperta di Galvani della somma irritabilità delle rane e di altri animali per l'elettrico, ed è da essa che nacque la maniera di promuovere questo fluido pel *contatto di corpi eterogenei* escogitata da Volta, dalla quale questi fu poscia condotto all'invenzione del suo elettromotore che diffuse tanta luce sulla fisica stessa, sulla chimica e sulla fisiologia. Galvani, prof. a Bologna, aveva intrapreso parecchie investigazioni sull'irritabilità degli organi muscolari di alcuni animali per l'elettrico, che si procurava colla machina ordinaria e coll'elettroforo. Vuolsi che, nel volgere dell'anno 1790, l'illustre professore avesse, per quelle sue indagini, preparato parecchie rane cui metteva a nudo la spina dorsale o midolla spinale coi nervi crurali o lombari, e per meglio maneggiarle aveva fatto passare tra la spina dorsale ed i nervi un uncino di rame. Avvenne un giorno d'aver egli sospeso per gli uncini alla ferriata del balcone alcuni cadaveri di quei ranocchi, e s'accorse che provavano talvolta delle convulsioni spontanee. Meravigliato del fenomeno, pensò dapprima che ne fosse causa l'elettricità dell'atmosfera; ma poscia esaminatolo con maggiore attenzione, s'avvide che accadeva ogni volta che le coscie di quegli animali venivano a combaciamento colle verghe di ferro del parapetto del balcone (1). Galvani afferrò abilmente l'importanza di questo fatto e si applicò a determinare le circostanze per produrlo, riconoscendo che tutto si riduceva a far comunicare i nervi coi muscoli della rana con due lamine o fili metallici, avendo altresì rinvenuto che le convulsioni talvolta accadevano adoperando un sol metallo. Stabilita questa condizione, il professore italiano fece entrare nel circuito anche altri conduttori come pure persone congiunte colle mani, e in ogni caso ottenne gli scuotimenti dell'animale. In questi fatti Galvani credette di ravvisare un fluido proprio della vita ed esistente nei muscoli e nei nervi, il quale si metteva in circolazione facendo comunicare quelle parti mediante l'arco di metallo. Pubblicò pertanto nell'anno 1791 un'opera, dove poneva in

(1) La storia di questa importante scoperta e le conseguenze che ne ritrasse dappoi l'illustre italiano si possono vedere nel volume delle *Opere edite ed inedite del prof. L. Galvani*, che si pubblicarono in Bologna nel 1841 per cura dell'Accademia delle scienze dell'Istituto di quella città, col rapporto fatto alla medesima dal prof. Gherardi.

chiaro quelle sue vedute (1), credendo d'avere scoperto il modo di mettere artificialmente in moto il *fluido vitale*, chiamato in seguito dai suoi partigiani *fluido galvanico*.

1343. Questi fenomeni si diffusero per l'Italia, per l'Europa ed in America, ed ovunque eccitarono meraviglia per la loro singolarità e per intravedere in essi qualche speranza di giungere a scoprire il movente della vita. Tutti gli spiriti, che si occupavano di simili studi, si fecero ad esaminare le nuove viste di Galvani, e i fisici istituirono degli sperimenti per l'analogia che il supposto fluido animale mostrava aver coll'elettrico. Fra questi dobbiamo far menzione di Volta, non solo per aver egli ripetuto e variato su parecchi animali le sperienze del fisico di Bologna, ma per averne ritratto dappoi delle verità e dei principii, che lo condussero all'invenzione del famoso suo elettromotore. Volta, nell'esaminare i nuovi fatti, era pure di opinione che l'*arco conduttore* fosse diretto a mettere in equilibrio l'elettrico sbilanciato naturalmente nell'animale, e riteneva essere ciò *suo proprio ed unico ufficio* (2). Egli mostra al pari di Galvani che possono far parte del circuito dei corpi, i quali non siano i migliori deferenti quando la rana è di recente preparata, e che il fenomeno non si ottiene adoperando materie coibenti. Pubblicò poscia il risultato delle molteplici sue sperienze in due Memorie (3), dalle quali è costretto a conchiudere, nello stato in cui si trovava allora la scienza, che *la dissertazione* (di Galvani), *intorno all'azione dell'elettricità sul moto muscolare, contiene una di quelle grandi e luminose scoperte, che meritano di far epoca negli annali delle scienze fisiche e mediche* (*Collezione* succitata, pag. 15).

Per istituire le sperienze di Galvani nella scuola, si prende una rana e dopo averne tagliata la testa un poco al disotto delle gambe anteriori mediante una forbice, la si spoglia della pelle. Si levano le interiora e tutte le parti che ricoprono i nervi lombari, e si separa la spina dorsale in modo che le coscie colle gambe posteriori restino sospese unicamente per quei nervi. Fatto ciò, s'inviluppano i nervi stessi con una piccola foglia di stagno e meglio di zinco, e si colloca l'animale così preparato sopra una lastra di vetro. Si prende una lista di rame incurvata in arco (fig. 527), di cui un'estremità si mette a contatto colla guernitura di zinco e l'altra si fa toccare colle coscie

(1) *De viribus electricitatis in motu musculari*. Bologna 1791

(2) *Collezione delle opere succitata*, t. II, parte 1ª, pag. 7

(3) Si veggano le due Memorie nel tomo suddetto della *Collezione*, p. 15 e 55.

Tosto che è compiuta la congiunzione, si manifestano nell'animale delle convulsioni e delle contrazioni, che si ripetono ogni qual volta si fa il toccamento e durano sinchè l'animale conserva un residuo di vitalità. Quei moti sono tanto più vivi quanto più la rana è di fresco preparata, e cessano tanto più presto quanto più l'animaletto è stato eccitato. Si può disporre l'esperimento facendo pescare nell'acqua salata d'una tazza di vetro la spina dorsale coi nervi e in liquido eguale d'altra tazza i piedi colle coscie, e poscia mettere in comunicazione i due liquidi coll'arco composto dei due metalli (fig. 326). S'istituisce l'esperienza eziandio in un modo più semplice, coll'introdurre l'estremità d'una lunga lista di rame fra i nervi e la spina dorsale e metterla a contatto per l'altra estremità con una lista eguale di zinco adducendo questa a contatto colle coscie della rana (fig. 320)

Volta, al pari di Galvani, istituì un gran numero di sperienze sopra molti altri animali tanto a sangue freddo come a sangue caldo, studiandone anche gli effetti prodotti dall'elettricità ordinaria. Da tali sperienze fu indotto a quell'epoca a convenire nel pensiero e ad ammettere come Galvani che *il fluido elettrico sostiensi naturalmente sbilanciato in virtù dell'organizzazione propria dell'animale, tra nervo e muscolo o tra l'interiore e l'esteriore del muscolo medesimo, come è più probabile* (*Collezione* succitata, pag. 45). Coll'elettrico ordinario poi aveva trovato che, se basta una tensione debolissima a produrre quei moti quando la scarica entra pei nervi e passa ai muscoli, ne è mestieri una almeno quadrupla e talvolta sestupla ed ottupla a produrre eguali movimenti, quando la scarica è diretta in contrario verso, cioè dai muscoli ai nervi (*Collezione* ecc., pag. 40). E da questo Volta dedusse, secondo l'ipotesi di Galvani, che il nervo fosse elettrizzato negativamente e il muscolo positivamente, e ciò all'opposto del Galvani medesimo, il quale risguardava il nervo in eccesso di elettrico, ossia tramandando quel fluido per l'arco conduttore dai nervi ai muscoli. Volta inoltre risguardava lo sbilancio di fluido nell'animale in un modo un poco differente da quello dell'elettrico nella boccia di Leida (*Collez.* ecc., p. 41)

1344. Era già stata avvertita da Galvani la circostanza che *la diversità dei metalli molto influisse per far succedere più facilmente e con maggior energia le convulsioni* (opera citata, pag. 21). Ma, guidato dall'idea del fluido animale, egli non intravide come in essa si racchiudesse il principio scientifico, da cui dovevano in seguito scaturire le più grandi scoperte e le più grandi invenzioni, che illu-

strarono la scienza nel presente secolo. Sgombra la mente dalle ipotesi fisiologiche, Volta afferrò abilmente quella condizione, se ne servì di guida nelle moltiplici sperienze di cui è corredata la seconda delle sue Memorie succitate, e fu condotto all'idea ardita, al principio così poco consentaneo alle cognizioni di quei tempi sull'elettricità, voglio dire a considerare nel *mutuo contatto dei metalli la causa motrice dell'elettrico*. Nello stesso anno 1792, in due lunghe lettere a Tiberio Cavallo, dà conto delle sue indagini alla Società Reale di Londra (1), e con nuove sperienze e vedute illustra il principio da lui escogitato. I due scritti del grande Italiano furono giudicati di tal pregio da quel consesso di dotti che meritarono l'onore d'essere per intero inseriti nei volumi de' suoi *Atti*. Nel novembre del medesimo anno, scrivendo Volta al suo collega Brugnatelli, conchiude che i metalli *non sono semplici deferenti, ma veri motori ed eccitatori dell'elettricità, e questa è una scoperta capitale* (2)

Le idee di Volta, così poco analoghe a quanto si sapeva allora in fatto d'elettricità, dovevano sollevare delle quistioni per parte di quegli stessi che abbracciarono l'opinione del fisico di Bologna. Si radunò infatti una schiera di oppositori capitanata da Aldini e da Valli, i quali con parecchie sperienze e con argomenti speciosi cercavano di distruggere le fondamenta del grande edifizio, che Volta andava innalzando. Non è qui il luogo opportuno di seguire passo passo la lotta che durò per parecchi anni fra gl'illustri contendenti, nella quale la scienza andò sempre più avvantaggiando. Volta infatti faceva osservare che *nulla mai o quasi mai non si ottiene senza il contatto di qualche metallo, anzi di due di diverse specie, o in qualche altra cosa dissimili, cioè per durezza, pulitura, lucidezza ecc., onde fui condotto a congetturare che quando pure si ottiene qualche convulsione e moto anche col contatto di due metalli, che sembrano in tutto eguali, l'effetto sia dovuto anche allora a qualche impercettibile differenza fra essi metalli* (volume succitato della *Collezione*, pag. 166) D'altronde come poteva pretendersi sbilanciato quell'ipotetico fluido fra i nervi ed i muscoli, se le convulsioni provocate coi metalli hanno luogo anche sopra qualunque membro dell'animale, sopra un solo muscolo e sopra un piccolo pezzo di muscolo, colla differenza che negli animali a sangue freddo, come dotati di vita più

(1) *Collezione* succitata, t. II, parte 1ª, pag. 149

(2) Si vegga la lettera nella suddetta *Collezione*, vol. cit., pag. 161 e pel passo qui riferito pag. 163.

tenace, la sensibilità per quelle commozioni è più durevole che in quelli a sangue caldo. Volta quindi ne conchiudeva non essere necessario che la scarica si faccia tra nervo e muscolo, come pensavano Galvani e i suoi seguaci, e che la parte animale si paragoni alla boccia di Leida.

Molti fisici in Italia ed all'estero avevano però adottate le nuove idee di Volta, il quale non intralasciava con nuove sperienze di mettere in chiaro i suoi principii. In una nuova Memoria divisa in tre lettere dirette al prof. Vassalli di Torino (1), Volta stabilisce due fatti fondamentali, coi quali prendono miglior ordine le sue dottrine e di cui parleremo. *La qualità accidentali di durezza, di tempra, di levigamento e lucidezza nella superficie, di calore ecc. possono far differire i metalli in ordine all'azione elettrica, al potere cioè di spingere il fluido elettrico nel corpo umido, con cui combaciano, od attrarlo, non altrimenti che simili differenze ed altre circostanze fanno che gli stessi metalli ed altri corpi trovansi più o meno atti a dare od a ricevere dell'elettrico eccitato collo stropicciamento* (p.200). Si prendano infatti dei grossi fili di ferro e si scelga quello che, posto alla prova, non fa convellere la rana preparata alla maniera di Galvani. Se ne tuffi un capo nell'acqua bollente, dove si mantenga per qualche mezzo minuto, poscia si sperimenti colla rana ed indurrà in questa delle contrazioni. Riprendendo la primitiva temperatura, il filo diventa ancora incapace a produrre le contrazioni. Lo stesso si ottiene con lamine d'ottone, d'argento, di stagno ed altri metalli. Raschiando e rendendo lucido una delle estremità d'una lamina di piombo, acquista questa egualmente la proprietà di far convellere la rana, che prima non aveva.

Mentre Volta con nuovi fatti e nuovi ragionamenti spandeva maggior luce sulle sue dottrine, i suoi oppositori andavano in cerca essi pure di fatti per sostenere la loro opinione, e Valli era giunto a far convellere la rana adducendo a combaciamento i nervi colle coscie, cercando di abbattere con questo il principio di Volta della facoltà elettromotrice dei metalli. Tutte queste opposizioni tornarono a profitto della scienza: imperocchè spinsero Volta ad intraprendere nuove sperienze, dalle quali fu condotto ad ammettere con maggiore generalità che *si ha sviluppo d'elettrico non solo pel contatto dei metalli e dei conduttori solidi eterogenei, ma eziandio pel combaciamento dei conduttori liquidi dissimili* (2). Infatti egli trovò che i

(1) *Collezione succitata*, t. II, parte 1ª, pag. 195.
(2) *Collezione succitata*, t. II, parte 1ª, pag. 234 e 267

tremori, nella rana di fresco preparata, succedono col contatto delle parti animali stesse, quando si trova interposta una materia o qualche umore eterogeneo o salino, o col lordare di tal umore l'una o l'altra delle parti che si adducono a combaciamento (pag. 255). Il qual umore può eziandio essere somministrato dalla rana stessa, quando le parti sono intrise di sangue o di altra sostanza animale eterogenea ai nervi ed ai muscoli. In presenza di tali fatti e di tali dimostrazioni molti si arresero, ma alcuni pochi cercarono tutte le via d'impugnare l'evidenza del principio di Volta ben anche quando venne a mostrare al condensatore l'elettricità sviluppata per contatto ed ebbe inventato il meraviglioso apparato, di cui quanto prima ci occuperemo. Intanto diremo che la rana, preparata alla maniera di Galvani, altro non era per Volta che un *elettroscopio animale* od un *elettroscopio vivente* molto più sensibile degli elettroscopii sino allora conosciuti. I dotti stranieri vennero sempre più a convertirsi in maggior numero alle dottrine del fisico italiano, principalmente dopo che questi nell'anno 1801 fece la memorabile comunicazione delle sue dottrine e mostrò le sperienze col nuovo suo elettromotore al consesso dei dotti a Parigi in presenza dello stesso Napoleone, perlocchè al nostro concittadino, come autore della più brillante e luminosa delle scoperte che vantino i moderni tempi, fu decretata una medaglia d'onore coll'iscrizione — *A Volta Seance du 11 frimaire an. 10*.

1343. Dal cenno storico di questo ramo d'elettricità si apprende essere mestieri distinguere due scoperte fondamentali: la scoperta di Galvani e quella di Volta, dovute per l'onore nazionale ambedue al genio italiano. Galvani osservò un fenomeno poco sorprendente per sè medesimo, ma colla sua sagacità seppe discernere in esso una circostanza rilevante, la regolarità con cui si produce per mezzo dell'agente che si sviluppa mettendo in comunicazione i nervi coi muscoli della rana, e da ciò conchiuse che un tal fatto, veramente fisico per la sua indole e per la sua regolarità, è un fenomeno nuovo dipendente da novella causa. Dopo averne dimostrato la regolarità, dopo aver riconosciuto qualche carattere distintivo nel fluido da cui è prodotto, e qualche somiglianza coll'elettrico perchè i corpi conduttori gli danno libero il passaggio e i coibenti lo arrestano, Galvani persiste a crederlo un principio dell'animale, un fluido nuovo, a cui i suoi partigiani danno il nome di *fluido galvanico*. Dietro queste viste, delle indagini sono fatte in tutte le parti del mondo incivilito durante parecchi anni, tutti si smarriscono sulle orme di Galvani, allorquando Volta viene a richiamare il fatto fondamentale ad un'idea fisica, che

apre una carriera affatto sconosciuta. Vedendo che le convulsioni si ottenevano ben di rado coll'arco fatto d'un solo metallo, mentre si avevano con sicurezza e per molto maggior tempo coll'arco formato di due metalli eterogenei, studiando su questa circostanza, che era sfuggita o almeno non era stata ben compresa da tutti gli altri osservatori, egli, all'appoggio dell'esperienza, ne dedusse che non è, come opinava Galvani, nei canaletti impercettibili, di cui le fibre dei nervi sono solcate, dove esiste il fluido; ma che questo risiede nell'arco conduttore stesso, nelle materie dei metalli eterogenei, dai quali si sviluppa nel loro mutuo combaciamento. Quantunque questo fluido abbia, a dir vero, un'azione molto debole; tuttavolta passando a traverso gli organi dei ranocchi, allorchè si compie il circuito, determina in quegli organi sommamente irritabili le convulsioni osservate da Galvani. Dopo aver dimostrato che i due metalli sono necessari allo sviluppo sensibile di quell'agente, dopo aver riconosciuto che il suo corso è interrotto dalle materie coibenti e dopo aver fatto notare l'analogia del fenomeno con quelli delle scariche elettriche ordinarie; Volta va più lungi e prova in una maniera diretta che quel fluido è veramente elettrico, raccogliendolo al condensatore e producendo gli stessi effetti accumulato con un apparecchio, che quanto prima faremo conoscere.

1346. Senza seguire l'ordine con cui Volta nelle indagini posteriori fu condotto all'invenzione del suo elettromotore (1), incominceremo a dimostrare come dal *mutuo contatto di corpi eterogenei* si sviluppi l'elettricità di tensione, poscia come l'elettrico si metta in corrente continua per produrre i fenomeni dinamici

Per esplorare l'elettricità di tensione, che si sviluppa nel contatto dei conduttori eterogenei, Volta prendeva dei dischi o piattelli di diversi metalli del diametro di 8 in 10 centimetri, *non essendo di gran vantaggio se siano più grandi, ma sarebbero troppo svantaggiosi se fossero molto più piccoli* (pag. 52) Questi piattelli sono muniti di manico di vetro verniciato di ceralacca, e si mettono a contatto senza toccarli, tenendoli cioè pel loro manico (fig. 330). Se uno dei piattelli è di rame e l'altro di zinco, il primo si elettrizza negativamente

(1) Le successive Memorie pubblicate da Volta, si riscontrano nella *Collezione* più volte citata, l'una nel t. II, parte 2ª, dalla pag. 4 alla 94, una seconda nello stesso tomo, dalla pag. 95 alla 131, che è stata inserita negli Atti della Società R. di Londra cui era diretta; ed altre due nel medesimo tomo, dalla pag 151 alla 164 e dalla pag. 165 alla 237.

e il secondo positivamente. Onde riconoscere lo stato d'elettrico d'uno di essi, è mestieri mettere l'altro in comunicazione col suolo per rendere a quello la massima carica secondo la teorica del condensatore. Si fa combaciare poscia col collettore dell'elettrometro condensatore per ottenerne nel modo conosciuto la tensione elettrica (§. 1296). Si avverta che il collettore deve essere fatto dello stesso metallo del piattello di cui si esplora l'elettricità, e in caso diverso interporvi fra l'uno e l'altro un sottile strato di carta bagnata d'acqua salsa, onde non avere sviluppo d'elettricità contraria fra il collettore ed il piattello. Si ripetono i contatti dei due piattelli nello stesso modo, rimessi dapprima allo stato naturale, ed ogni volta col collettore: dopo sette od otto toccamenti si avrà al condensatore una tensione sensibile. Per riconoscere tosto lo stato elettrico del piattello è molto proprio il condensatore applicato all'elettroscopio a pila. Ed io soglio ripetere nella scuola quest'esperienza con un elettroscopio di questa specie a foglietta d'oro della lunghezza di 9 in 10 centimetri e di alcuni millimetri di larghezza, avendo con un solo toccamento la deviazione di 5 in 6 millimetri. S'istituisce l'esperienza eziandio col toccare contemporaneamente i due dischi del condensatore coi piattelli posti prima a combaciamento fra loro, e ripetere i toccamenti parecchie volte dopo avere rimessi i piattelli stessi allo stato naturale e posti a mutuo contatto.

Affine di togliere il sospetto che l'elettricità si sviluppi dai due metalli in virtù della pressione (§. 1319), si suole saldarli assieme (fig. 331) e prendere la verga composta colla mano per la parte Z toccando coll'altra R il collettore, rimettere di nuovo la verga allo stato naturale e fare un secondo toccamento; e così ripetere l'operazione 3 in 4 volte per avere all'elettrometro condensatore i segni di tensione. Il meccanico Carlo Jest, preparatore del gabinetto di fisica della R. Università di Torino, fabbrica degli elettrometri condensatori a lunghe foglietta d'oro, nelle quali si ha con un sol contatto la divergenza abbastanza grande per essere visibile nella scuola.

1347. Si è con esperimenti consimili che Volta ha pel primo trovato **nel mutuo contatto dei corpi eterogenei incitarsi o sbilanciarsi l'elettrico in virtù d'una forza attinente alla natura stessa delle materie. Nei corpi solidi questo sbilancio è sensibile al condensatore, ma mettendo a cimento un corpo solido con un liquido lo squilibrio elettrico è in un grado incomparabilmente minore. Gli eccitatori dell'elettrico per contatto sono distinti da Volta in due classi: 1a** *Con-*

duttori secchi o motori di prima classe, che sono solidi; 2ª *Conduttori umidi o motori di seconda classe*, che sono liquidi

Volta ordinò i conduttori di prima classe secondo il loro potere di eccitare l'elettrico. Per apprendere come egli stabiliva ad ogni conduttore il rispettivo posto secondo la loro facoltà elettromotrice, supponiamo che abbiasi incominciato a sperimentare col *ferro e coll'argento* nella maniera descritta e siasi trovato quello *elettro-positivo* rispettivamente a questo *elettro-negativo*. Se in una seconda sperienza siasi accoppiato il *ferro* collo *stagno* e si trovi il primo elettro-negativo in riguardo al secondo: è chiaro che lo stagno stesso riuscirà tanto più elettro-positivo a contatto coll'argento, che era elettro-negativo col ferro. Confrontando in tal maniera lo stagno collo zinco si trova che quello è elettro-negativo in paragone di quest'ultimo; talchè lo zinco riuscirà tanto più elettro-positivo accoppiato al ferro, ed ancor più coll'argento. L'argento che è elettro-positivo relativamente al platino, è chiaro che lo zinco sarà maggiormente elettro-positivo in presenza del platino. Guidato da sperimenti consimili Volta ordinò i metalli secondo la loro facoltà elettromotrice rispettiva e ne formò una serie od una *scala*, incominciando dal corpo più elettro-positivo e schierando per ordine quelli che di mano in mano lo sono meno, i quali perciò sono elettro-negativi quando si confrontino coi corpi da cui sono preceduti e divengono elettro-positivi paragonati con quelli da cui sono seguiti. Altri fisici si occuparono poscia di simili determinazioni, deducendo l'ordine del corpo dall'energia della corrente misurata con diverso strumento, col galvanometro, che si presta, è vero, più facilmente a questa sorta d'indagini, come vedremo, ma che complica i risultati per l'influenza del liquido che entra nella combinazione. I fisici, che più si occuparono dopo Volta (1) di tali determinazioni, sono Marianini (2) e Pouillet (3), dei quali riportiamo pure i risultati.

Corpi dotati di facoltà elettromotrice incominciando dal più elettro-positivo.

Secondo

Volta	Marianini	Pouillet
Zinco	Zinco	Zinco
Stagnuola	Piombo splendente	Piombo
Piombo	Stagno	Stagno

(1) *Collezione succitata* t. II, parte 1ª, pag. 236

(2) *Saggio di sperienze elettrometriche*. Venezia 1825, pag. 143.

(3) *Élémens de physique*, 2ª édition. Parigi 1832, t. I, parte 2ª, pag. 231.

Volta	Marianini	Pouillet
Stagno	Manganese in regolo	Ferro
Antimonio	Piombo non splend	Acciaio
Ferro	Ferro	Antimonio puro
Bismuto	Ottone	Bismuto
Bronzo	Rame splendente	Ottone
Ottone ed oricalco	Bismuto splendente	Rame
Rame	Cobalto	Bronzo
Cobalto	Bismut. non isplend.	Solfuro d'antimonio
Solfuro di ferro non cristallizzato	Nicolo	Metallo delle campane
Solfuro di piombo	Antimonio splend.	Mercurio
Platino	Rame non isplend.	Solfuro di bismuto
Mercurio	Antimonio non ispl.	Antimonio comune
Solfuro di ferro crist.	Argento	Piombag. (carb. di ferr.
Oro	Mercurio	Solfuro di rame
Argento	Solfuro di piombo	Solfuro di piombo
Manganese grigio	Cobalto grigio	Argento
Solfuro di rame	Solfuro di rame	Platino
Piombagine (carburo di ferro)	Platino	
Carbone vegetale	Oro	
	Solfuro di ferro cristallizzato	
	Piombagine (carbur. di ferro)	
	Solfuro di ferro non cristallizzato	
	Manganese ossidato	
	Carbone ossidato	

L'ordine stabilito da Marianini e da Pouillet discorda in qualche parte da quello di *Volta* pel metodo diverso da essi usato. Infatti secondo loro l'argento è più elettro-positivo del platino, mentre è al contrario secondo Volta. Si riscontra altresì qualche diversità fra l'ordine determinato da quei fisici, che dipende dall'influenza più o meno grande del liquido da essi adoperato. Marianini d'altra parte ha sperimentato anche col condensatore l'elettrometricità relativa dei metalli più comuni ed ha trovato l'ordine seguente (1): *zinco, piombo, stagno, ferro, rame, argento, oro* e *platino*. Péclet che ha fatto uso

(1) *Memoria di fisica sperimentale*. Modena 1838, pag. 95.

pure del condensatore li dispone come segue (1) : *zinco, piombo, stagno, bismuto, antimonio, ferro, rame, oro*. Si vede che la scala degli *elettromotori per contatto* differisce da quella che abbiamo riportata degli *elettromotori per stropicciamento* (§. 1227) e che non bisogna confondere l'una con l'altra nelle combinazioni elettriche.

1348 Dalla maniera stessa con cui è stata stabilita la scala degli elettromotori per contatto, si comprende che lo sbilancio elettrico riuscirà tanto più grande quanto più le materie poste a combaciamento sono fra loro distanti nella serie. Nel contatto dello zinco col ferro infatti si ha uno sbilancio minore di quello dello zinco col rame, e in questi minore dello zinco coll'argento. La temperatura però, l'ossidazione ed altre modificazioni, nei due elementi della coppia e nel liquido interposto, fanno variare la facoltà elettromotrice. Avviene quindi che un metallo, il quale era elettro-positivo rispetto ad un altro, diventi in alcuni casi elettro-negativo o almeno scemi nella coppia la forza elettromotrice. E questa probabilmente la principale ragione delle differenze, che si riscontrano nelle scale degli elettromotori stabilite da diversi sperimentatori.

Non solo nei buoni conduttori, come sono quelli della scala di Volta, ma anche nei conduttori di seconda classe e nei coibenti si sviluppa l'elettrico di tensione per semplice contatto, come è provato dalle sperienze di Volta altrove riportate (§. 1319). Coi corpi coibenti però non si ottiene la corrente continua produttrice dei fenomeni galvanici. La facoltà elettromotrice dei conduttori liquidi è molto inferiore a quella di due conduttori solidi, e Volta provava che, mentre i primi promuovono la corrente sensibile all'elettroscopio della rana, sviluppano un'elettricità di tensione insensibile agli elettroscopii comuni aiutati anche dal condensatore. Si prende infatti un tubo di vetro T, chiuso da un lato con tappo di rame, che porta infisso nell'asse una verga *ab* dello stesso metallo (fig. 332). Versando nel tubo un liquido, per es. dell'acqua salata, si ha con ciò in presenza un conduttore liquido con altro solido. Per quanto si ripeta il contatto dell'estremità *a* della verga di rame col collettore, mentre il liquido comunica col suolo, non si ha alcun indizio di tensione elettrica e per conseguenza verun eccitamento d'elettrico nel contatto della verga con l'acqua salata. Volta ebbe soltanto qualche segno di tensione elettrica quando un elemento della coppia è cattivo conduttore (§. 1319).

(1) *Archives de l'électricité*, t. 1, pag. 634

1349 La circolazione dell'elettrico in corrente continua si ottiene, secondo Volta, colle tre seguenti combinazioni (1): 1° Col contatto di due conduttori di prima classe o conduttori secchi eterogenei, i quali dal lato opposto al loro combaciamento comunicano per mezzo di uno o più conduttori umidi o di seconda classe, 2° col contatto d'un conduttore di prima classe e due conduttori umidi eterogenei, che si congiungono fra loro immediatamente o con un terzo conduttore di seconda classe, 3° col contatto di tre conduttori umidi eterogenei, riuniti in modo da formare un circuito non interrotto, pel quale trascorre l'elettrico.

L'esistenza della corrente elettrica, in queste combinazioni di conduttori formanti un circolo o una catena non interrotta da materie coibenti, era riconosciuta da Volta per mezzo della rana come elettroscopio sensibilissimo. Si serviva eziandio di alcuni effetti fisiologici di cui parleremo nella seguente sezione: essi sono il *sapore acido* od *alcalino* prodotto dalla corrente sulla lingua, che fa parte del circuito, il *lampo* o *chiarore*, che apparisce quando qualche parte dell'occhio entra nel circuito; e infine il *bruciore* generato dalla corrente quando passa per la fibra nuda o per una piaga del corpo umano. Lo stesso Volta deduceva inoltre la direzione della corrente dagli effetti annunciati che confrontava cogli effetti analoghi prodotti mediante l'elettrico della machina a stropicciamento. La scienza attualmente possiede uno strumento molto più proprio per riconoscere con somma facilità e comodità non solo l'esistenza delle più lievi correnti elettriche, ma ben anche di determinarne la direzione ed averne in numeri la valutazione. Questo strumento è noto sotto il nome di *galvanometro* che si è veduto unito al termo moltiplicatore (§ 1058), e dipende dai principii, che si spiegano più avanti. Osservando il lato per dove devia l'ago calamitato si giudica la direzione della corrente, la quale è più o meno energica secondo il numero dei gradi di deviazione dell'ago medesimo.

1350. Le correnti colla prima combinazione si sono vedute nei fenomeni originali di Galvani ripetuti da Volta. Quest'ultimo ha istituito un gran numero di sperienze colla seconda e terza combinazione di cui esplorava la corrente mediante la rana e gli altri metodi suindicati. Ne riporteremo qui alcune, che si possono ripetere nella scuola adoperando anche il galvanometro. Si versi in un bicchiere A un umore acqueo e nell'altro B un liquore mucilaginoso, saponaceo o

(1) *Collezione succitata*, t. II, parte 2ª, pag. 42 e 253

salino, e si mettano rispettivamente in comunicazione i bicchieri A, B coi capi del filo galvanometrico con un arco di qualche metallo omogeneo, ben pulito e terso, si compisca il circuito immergendone le estremità nei liquidi dei bicchieri, e si avrà tosto al galvanometro indizio della corrente prodotta dalla seconda combinazione Per togliere l'influenza del filo metallico dello strumento, si può distendere fra i due bicchieri la rana di recente preparata, la quale colle contrazioni darà indizio della presenza della corrente elettrica. Nel primo sperimento l'arco metallico non deve essere di rame, per non dar luogo a forze contrarie ed opposte col rame del filo galvanometrico, che pesca nei medesimi liquidi Si possono variare i conduttori umidi a piacimento, aggiungendo altri due bicchieri pieni d'acqua salata, ai due A, B, dove si contengono dei liquidi che intaccassero il rame o che producessero disorganizzazione nella rana. I due bicchieri aggiunti si uniscono coi primi mediante fili di platino, e con essi comunica il galvanometro.

Nei due bicchieri A, B si può versare lo stesso umore acqueo, e mentre l'estremità dell'arco di zinco, di stagno, d'argento ecc. s'immerge nel liquido di A, l'altra, lordata d'alcali, d'acido, o di qualche soluzione salina, si tuffa nell'acqua di B. Appartiene a questa seconda combinazione la seguente sperienza di Volta In una tazza di stagno col piede dello stesso metallo si versi un liquido mucilaginoso, o latte di calce, o liscivia di sapone o meglio una soluzione alcalina concentrata; ciò fatto, s'impugni la tazza con una o con ambedue le mani umettate d'acqua semplice, e s'intinga l'apice della lingua nel liquore: si prova sulla lingua stessa un *sapore acido* al contatto del *liquore alcalino* Questo fenomeno della corrente elettrica per contatto, dà ragione del sapore che si gusta bevendo l'acqua, il vino e simili in tazze di metallo e principalmente di stagno, piuttosto che in vasi di vetro o di porcellana. La saliva col liquore nella tazza e l'umidità della mano sono i due conduttori di seconda classe eterogenei, che tengono fra mezzo il metallo In tutte queste combinazioni di simil genere moltiplicate e variate da Volta in un gran numero di maniere, egli otteneva le commozioni della rana (*Collez* ecc , p. 25).

Volta ha trovato che lo stagno prevale e l'argento è inferiore a tutti gli altri metalli, eccetto però che, essendo uno dei liquori l'acqua o un conduttore acquoso qualunque, l'altro sia un *solfuro*. Parimenti col ferro si ottiene una corrente molto energica accoppiandolo con un conduttore acqueo e con acido nitroso, fosse anche una sola goccia. L'effetto che si ha in questi casi coll'argento e col ferro, è su

periore a quello prodotto da due metalli eterogenei riuniti con un liquido.

La corrente colla terza combinazione si può avere alla maniera di Volta piegando la gamba della rana per metterne a contatto la parte tendinosa coi nervi dorsali interponendovi qualche umore o saponaceo o salino, che forma colle due parti dell'animaletto il terzo conduttore umido (fig. 333).

1351. L'elettrico, sì debole e sì impercettibile nel contatto di due corpi eterogenei, è stato accumulato da Volta in una maniera ingegnosa. Incominciò egli, dietro le sperienze riferite, ad ammettere per principio che si danno *buoni conduttori ed insieme buoni elettromotori*, quali sono i solidi e i corpi secchi; ed inoltre *buoni conduttori e cattivi elettromotori*, quali sono i liquidi e i corpi umidi. All'appoggio di questo principio, ecco in qual modo egli giunse col ragionamento all'invenzione del suo apparato elettromotore.

Se una piastra di zinco Z_1 si mette a contatto con una di rame R_1, si ha equilibrio d'elettrico e il primo metallo prende lo stato positivo e l'altro negativo. Per meglio fissare le idee, si collochi la piastra R_1 sopra un sostegno qualunque in comunicazione col suolo ed essa si metterà allo stato naturale e si troverà in circostanze di spingere maggior dose d'elettrico in quella di zinco sovrapposta. Ponendo a contatto colla Z_1 una seconda piastra di rame R_2, questa, in virtù della forza elettromotrice, tenderà pure a spingere nello zinco Z_1 dell'elettrico in contrario verso dell'altra piastra di rame R_1. Le due forze, essendo opposte ed eguali, si contrabbilancieranno e non si avrà accumulamento d'elettrico. Ma, prima di sovrapporre su Z_1 la piastra R_2, si metta una rotella o un dischetto di panno o cartone inzuppato d'acqua salata o d'altro liquido conduttore, che prenderà lo stato elettrico dello zinco Z_1, non disturbando la legge dell'equilibrio, per essere esso cattivo elettromotore a contatto del metallo (§. 1348). Sopra il dischetto si collochi la piastra R_2, la quale pure per la legge d'equilibrio, si metterà allo stato elettrico positivo come il conduttore umido. Sovrapposta ora una seconda piastra di zinco Z_2 alla R_2 di rame, si svilupperà fra esse la forza elettromotrice tendente a farne perdere al rame, come nella prima coppia R_1Z_1. Nella seconda combinazione R_2Z_2 il rame non è allo stato naturale come R_1 nella coppia R_1Z_1, essendo invece già dotato di certa dose d'elettrico. Per lo che la piastra R_2 inciterà nella Z_2 dell'elettrico e in virtù della legge di equilibrio e in causa della forza elettromotrice di contatto, e quindi la piastra di zinco Z_2 avrà maggiore carica di Z_1. Ponendo su Z_2 un

conduttore umido e su questo una piastra di rame R_3 e poscia una di zinco Z_3, la tensione elettrica in quest'ultima sarà accresciuta in confronto di Z_2. Laonde, moltiplicando le coppie rame e zinco coll'interposizione del conduttore umido, si andrà gradatamente aumentando la tensione elettrica all'estremità superiore della colonna che si va erigendo, il quale aumento si potrà portare al punto che si desidera con maggior numero di coppie.

Tale è la mirabile invenzione con cui Volta è giunto ad accumulare indefinitamente elettrico senza stropicciamento, senza pressione e pel solo contatto di certi corpi, tale è la famosa *pila* o *piliere di Volta* od *elettromotore voltiano* (1). Si può anche incominciare la costruzione del piliere collo zinco e moltiplicare le coppie zinco-rame collo stesso ordine, interponendo a ciascuna la rotella o il disco di cartone od il panno inzuppato di liquido. Nella prima disposizione l'estremità superiore spiegherà la tensione positiva, mentre nella seconda sarà negativa. In generale le due estremità dell'apparato diconsi *poli* della pila, l'uno dei quali si chiama *polo zinco* o più generalmente *polo positivo*, e l'altro *polo rame* o *polo negativo*. La combinazione di due piastre rame-zinco si chiama, come si disse, *coppia* ed anche *elemento della pila*, mentre ciascuna piastra costituisce l'elemento della rispettiva coppia, per cui bisogna ben distinguere l'*elemento della pila dall'elemento della coppia*. L'estremità superiore dell'apparato così costrutto si denomina talvolta *vertice*, chiamandosi l'inferiore la *base della pila*. Assicurando a ciascun polo un filo metallico, esso prende il nome di *filo polare* o di *reoforo* che significa portacorrente, e vi ha per conseguenza il *filo polare* o *reoforo positivo* e *negativo*. Talvolta i due poli del piliere si congiungono con un sol filo, pel quale si mette in circolazione l'elettrico, e in tal caso appellasi *filo congiuntivo*. Se due piastre, per es. rame e zinco, hanno interposto qualche liquido conduttore e si riuniscono con un filo di metallo, in questo caso il filo stesso serve a mettere in contatto metallico le due piastre ed a costituirle in coppia elettromotrice e si chiama perciò *filo eccitatore*.

Una volta che siano congiunti i due poli, la corrente incomincia il suo corso, ed il *circuito è compiuto*, in caso diverso si dice essere il *circuito interrotto*. Queste espressioni si riferiscono tanto alla cor-

(1) La descrizione originale dell'apparato trovasi nella *Memoria* che Volta ha inviato al principio del corrente secolo alla Società R. di Londra, ed inserita anche nella succitata *Collezione*, t. II, parte 2ª, pag. 100.

rente, quanto ai corpi stessi che formano il circuito. Alcuni sogliono dire nel primo caso che il *circuito è aperto* e nel secondo che è *chiuso*, le quali denominazioni si riferiscono alla corrente, ed avrebbero significati del tutto contrarii riferite al circuito materiale. Per evitare l'equivoco useremo dunque le prime denominazioni; e se faremo uso delle altre vi aggiungeremo *alla corrente*. Dalla pila a circuito compiuto si hanno i *fenomeni dinamici*, ed a circuito interrotto quegli *statici*.

1352. Dalla maniera con cui Volta giunse a comporre il suo apparato si scorgerà di leggieri come nasce, secondo lui, la corrente elettrica nel circuito. Il liquido altro non sarebbe che un semplice conduttore, il quale riceve l'elettrico eccedente nella piastra di zinco e lo porta a quella seguente di rame, e così per ciascuna coppia. Esamineremo in seguito questa maniera di considerare il fenomeno, la quale costituisce la *teorica del contatto* della pila. Ora dobbiamo far conoscere altre foggie di costruzione dell'elettromotore voltiano, chiamandosi quello originario descritto *pila a colonna*, come consistente in un cumulo di piastre sovrapposte le une alle altre. Questa disposizione è soggetta a parecchi inconvenienti nella pratica, fra i quali il peso delle piastre che spremono dai dischi di cartone o di panno il liquido e lo fanno sgocciolare lungo la colonna mettendo così in comunicazione le coppie lateralmente con perdita della forza della corrente.

Affine di ovviare a questi inconvenienti Volta ha imaginato *l'elettromotore a corona di tazze* (1). Esso consiste in parecchie tazze o bicchieri di porcellana o di vetro (fig. 334) pieni del liquido conduttore, e in liste *a*, *b*, *c*, *d* ecc. formate metà di zinco e metà di rame saldati assieme. Nella prima tazza pesca lo zinco della lista *a* e il rame della lista *b* senza toccarsi, e lo zinco di quest'ultima s'immerge nel liquido del secondo bicchiere, e così progrediscono le altre liste avendosi con ciò una disposizione analoga alla pila a colonna. Si dispongono in un vassoio parecchi ordini di questi bicchieri colle rispettive liste di zinco e rame, che mettono in comunicazione i liquidi e costituiscono le coppie della pila; talchè si possono queste moltiplicare quanto si vuole.

1353. Le due precedenti disposizioni originali di Volta si sono variate in diverse maniere per avere degli apparati più comodi e più proprii allo sviluppo della corrente elettrica. L'*elettromotore a truo-*

(1) *Collezione* ecc. t. II, parte 2ª, pag. 108.

phi od a cellule dell'inglese Cruickbanks consiste in una cassetta di legno A (fig. 335) incatramata colla composizione fatta di 4 parti di polvere di mattone, di 3 di resina ed 1 di cera gialla. Le piastre rame e zinco di ciascuna coppia sono saldate assieme ed assicurate col catrame nella cassetta a piccola distanza fra loro in modo da lasciare fra la piastra rame d'una coppia e quella zinco della seguente una specie di cellula o truogo, dove si versa il liquido conduttore. Le piastre delle due coppie estreme sporgono sopra le altre dal piano della cassetta e costituiscono i poli dell'apparato, ai quali si attaccano i fili reofori.

1334. L'*elettromotore a doppio rame* di Wollaston era uno dei più comodi e più attivi apparati voltiani avanti che se ne congegnassero alcuni altri migliori, di cui parleremo. Esso consiste in parecchi truoghi di legno incatramati EF, MN (fig. 336), posti l'uno in seguito all'altro. La linea *zz* indica la lamina di zinco, circondata all'intorno dalla lamina di rame *rrrr* e tenuta a distanza con pezzetti di legno segnati nella figura. In questo elettromotore ogni lamina di zinco *zz* d'un truogo EF si congiunge con quella di rame *rrrr* del contiguo MN e forma la coppia od un elemento della pila. Nella stessa maniera la lamina di zinco *zz* del truogo MN forma la seconda coppia congiungendosi con quella di rame del truogo seguente. La congiunzione della lamina del terzo truogo con quella di rame del quarto è fatta nell'egual modo, e così via via delle seguenti. Le coppie così disposte sono appese per mezzo delle loro appendici ad un cilindro di legno, che si appoggia sulla sommità dei due sostegni verticali. Alle appendici delle lamine estreme si attaccano due fili che formano i due reofori dell'apparato. Giova l'osservare che il filo attaccato alla lamina *rr* di rame del truogo estremo EF sarà il *reoforo positivo* dell'elettromotore per la ragione che la lamina di rame, non trovandosi a contatto collo zinco, fa qui il solo ufficio di conduttore che riceve la corrente elettrica dal liquido, cui è trasmessa dalla piastra di zinco circondata da quella di rame. Lo stesso si dica del filo attaccato alla piastra di zinco dell'altro estremo, che viene ad essere il *reoforo negativo*.

Novelucci ha reso più attivo l'elettromotore a doppio rame col portare alla minima distanza la lamina di rame da quella di zinco interponendovi un pannolino. In tal maniera l'apparato riesce più vigoroso non solo pel doppio rame, ma ben anche per essersi di molto raccorciato il tragitto alla corrente nel passare pel liquido dallo zinco al rame.

Vittorio Michelotti ha imaginato un apparato di questa specie coll'*elettromotore a spira*. Consiste esso in lunghe lastre di rame e di zinco arrotolate assieme a guisa di spirale e tenute discoste per ogni disposizione binaria di rame e zinco con sottili funicelle di lino o di canapa. Le lamine, così arrotolate l'una sull'altra senza che si tocchino, sono immerse nel liquido contenuto nei vasi di vetro EF, MN (fig. 357). Le appendici rr mettono in comunicazione metallica una lamina di zinco della spira in EF con quella di rame della spira seguente in MN. Quanto si disse dell'elettromotore a doppio rame, in riguardo ai poli ed alla disposizione delle coppie dell'apparato, vale anche per quello a spira. Due sono le cause, secondo Marianini, per cui questi elettromotori riescono più attivi di quelli suddescritti. la prima consiste nell'offrire all'elettrico un cammino più breve, la seconda nell'essere la lamina di rame più estesa di quella di zinco, avendosi un accrescimento rapido nell'energia della corrente portando la superficie di rame bagnato fino ad essere ottupla o decupla di quella di zinco. Al di là di questo limite vi ha ancora accrescimento ma meno rapido. Prendendo invece più larga la lastra di zinco, l'accrescimento d'energia della corrente è incomparabilmente minore (1). Bigeon ha trovato che i rapporti di grandezza fra le lastre di rame e di zinco, per raggiungere il massimo effetto, dipendono dalla distanza cui si mettono le lastre medesime. Il prof. Dal Negro aveva dedotto da alcune sue sperienze che l'energia dell'elettromotore crescesse proporzionalmente ai perimetri della lastra metallica. Per rendere questi elettromotori più attivi e stabili, si può mettere in pratica i suggerimenti proposti da Poggendorff (2).

1366. Furono imaginate altre disposizioni del pilieri, le quali altro non sono che modificazioni delle descritte, nella stessa maniera che tutti gli elettromotori possono essere ridotti agli apparecchi originali imaginati da Volta, la *pila a colonna* e l'*elettromotore a corona di tazze*. La combinazione voltaica consigliata da Stadion è somigliante a quella a doppio rame. I vasi, dove si contiene il liquido conduttore, sono di rame e servono di piastre elettromotrici, mentre l'elemento zinco ha la forma di cilindro, pesca nel liquido medesimo ed unito al vaso di rame costituisce la coppia (fig. 358). Aggiungiamo ezandio ai descritti elettromotori la *pila a rosario*, la quale consiste in un cordoncino di seta, dove sono infilate pel centro parecchie coppie

(1) *Esperienze elettrometriche* ecc., pag. 172.
(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 1ª serie, t. 10, pag. 143.

di rame e zinco della forma di disco di alcuni centimetri di diametro, tramezzate da rotelle di panno.

Hare ripiegava dei rettangoli eguali di rame e di zinco in modo che ciascuno formava due lamine parallele riunite lateralmente per una lista dello stesso metallo. I rettangoli così ripiegati erano incastrati in guisa l'uno coll'altro che ciascuna lamina di zinco si trovava fra due di rame e ciascuna lamina di rame fra due di zinco. Con appendici, sporgenti nel mezzo di ogni singolo rettangolo, ne congiungeva alternativamente uno di rame con uno di zinco che costituivano così le coppie di un elettromotore somigliante a quello di Wollaston (§. 1354). Tutte le coppie erano fissate ad un cilindro di legno, per mezzo del quale venivano portate riunite nel liquido conduttore contenuto in una larga cassa senza verun diaframma. La corrente, per la grande vicinanza delle lamine, prende la via diretta senza disperdersi lateralmente nel liquido della cassa. Munch ha ravvicinato ancor più le lamine metalliche ed ha amalgamato lo zinco per conservare una certa costanza nella corrente (1). La pila descritta era conosciuta sotto il nome di *deflagratore*, ora è abbandonata possedendone la scienza altre molto più potenti e costanti nell'azione.

Riunendo assieme parecchie pile pei loro poli mediante conduttori, in modo che le rispettive correnti si rifondano in una sola e tendano per lo stesso verso, si formano le *batterie voltiane* o *galvaniche*. Si ottiene in tal maniera un unico elettromotore composto di alcune centinaia ed anche di qualche migliaio di coppie voltaiche, vale a dire una potente batteria per produrre gli effetti i più sorprendenti come si vedrà nella seguente sezione.

1356. I descritti elettromotori hanno perduto della loro importanza dopo l'invenzione delle *pile a corrente costante*. Avanti di far conoscere questi apparecchi voltaici dobbiamo osservare che l'azione chimica ha influenza sui fenomeni della pila, influenza che è stata riconosciuta primieramente da Fabbroni, da Wollaston e da altri e poscia riscontrata di tale entità che De la Rive, Faraday, Matteucci ed altri hanno veduto in quell'azione l'unico motore della corrente elettrica, fondando così la *teorica chimica* del pila e rigettando quella del *contatto* stabilita da Volta (§. 1352). Si è già mostrato come per l'azione chimica si abbia l'elettricità di tensione (§. 1328), e le sperienze di Pouillet colà riferite furono riprese da Peltier (2), il quale

(1) *Annali di fisica ec.* [illegible] pag. 42.

(2) *Archives de l'électricité.* Genève [illegible] pag. [illegible]

osservò non manifestarsi elettricità durante il tempo che la soluzione liquida nel crogiuolo conserva la forma sferoidale (§. 1133). Ha luogo lo sviluppo quando il sale in soluzione viene a contatto col vaso e, per la temperatura elevata che prende, si forma del vapore che esala con forza proiettando il liquido a distanza. Discutendo la teorica della pila vedremo in quali casi si abbiano segni elettrici quando vi ha azione chimica ed anche semplice azione induttiva d'un liquido sopra un metallo, che non furono ottenuti da Volta (§. 1348). Ora dobbiamo far conoscere in qual modo si genera la corrente voltaica secondo i seguaci della teorica chimica.

In ognuno dei casi, in cui un liquido agisce sopra un metallo e cede a questo uno de' suoi componenti con cui succede una combinazione, vi ha sviluppo d'elettrico e il liquido prende lo stato positivo mentre il metallo si mette a quello negativo. Nella coppia voltaica zinco-rame, il primo metallo è maggiormente intaccato dal liquido del circuito, per cui questo si elettrizza positivamente e forma la corrente elettrica che dal liquido stesso va al rame e dal rame allo zinco per riprendere il suo corso. Si è in tal modo che nella teorica chimica si concepisce la corrente elettrica della pila, escludendo qualunque influenza secondo la teorica del contatto di Volta. Discuteremo più avanti le due teoriche, secondo le sperienze e le ragioni che abbiamo esposte in tre successive Memorie lette ai Congressi italiani, provando che nè l'una nè l'altra per sè sola non basta a dar ragione dei fenomeni voltaici e mostrando come in ogni caso si debba concepire la generazione della corrente nella pila. Occupiamoci intanto degli altri elettromotori per venire a considerare l'origine della corrente nelle diverse combinazioni.

1337. Per comprendere i principii, da cui dipendono le *pile a corrente costante*, importa di notare che la corrente elettrica, nel transitare per liquidi composti, ne separa gli elementi, alcuni dei quali si portano al polo positivo e gli altri al polo negativo delle coppie del pilliere. I composti liquidi di tale specie furono denominati da Faraday *elettroliti*, denominazione che fu adottata per distinguerli da quei liquidi, che non conducono la corrente e non sono quindi decomposti quando non siano mescolati cogli elettroliti. Ora i corpi sono elettro-positivi od elettro negativi secondo che sono attratti al polo negativo od a quello positivo (§. 1241), ed essendo l'acqua così decomposta dalla corrente elettrica ne' suoi elementi ossigeno ed idrogeno (§. 727) portandosi il primo al polo positivo e il secondo componente al polo negativo della pila, ne conseguita che l'ossigeno è un corpo elettro-

negativo e l'idrogeno un corpo elettro-positivo. Avviene dunque negli elettromotori ordinari descritti che, decomponendosi pel passaggio della corrente il liquido, si unisce l'elemento negativo al polo positivo della pila o meglio di ciascuna coppia, mentre al polo negativo si porta l'elemento positivo. Questi elementi, ricongiunti coi poli rispettivi d'ogni coppia, ne rendono minore la forza elettromotrice e diminuiscono ben presto notabilmente l'energia della corrente. Si noti altresì che porzione dell'ossido di zinco ridotto dall'idrogeno si deposita sul rame, ed allora lo zinco si trova opposto allo zinco e le condizioni per l'ottenimento della corrente non sono adempiute. Le pile a corrente costante sono costruite in modo da impedire che gli elementi dell'elettrolito concorrano nella guisa indicata alla diminuzione dell'energia della corrente (1).

Al conseguimento della costanza della corrente venne il pensiero d'immergere la piastra di zinco in un liquido e quella di rame in altro di diversa natura, separati da un diaframma capace d'impedirne il rimescolamento senza intercettare il passaggio alla corrente. I due liquidi poi devono essere di tale natura da sciogliere i depositi che si formano ai poli per la decomposizione dell'elettrolito. Un fatto assai notevole ha servito a procurare la costanza della corrente nella pila, ed è di servirsi per piastra positiva dello zinco amalgamato. Il nostro Brugnatelli aveva già da parecchi anni notata l'influenza dell'amalgamazione dello zinco, come viene attestato anche dagli stranieri (2), quando Sturgeon ed altri fisici ne confermarono e ne riconobbero i vantaggi per ottenere la costanza nella corrente. Lo zinco amalgamato non si ossida come lo zinco puro e conserva quindi a lungo la proprietà di elemento elettro-positivo della coppia voltaica. Di questa singolare proprietà vedremo in seguito la ragione, intanto conchiuderemo da quanto si è discorso che, per avere la pila a corrente costante, bisogna impiegare per ogni coppia due liquidi ed amalgamare la piastra di zinco.

1358. Il primo elettromotore a due liquidi è quello disposto secondo i suggerimenti di Daniell. Consiste quest'apparato in un recipiente cilindrico di rame, che fa le veci di piastra negativa, dove si versa una soluzione concentrata di vetriolo azzurro o solfato di rame.

(1) Pei principii esposti, su cui è appoggiata la costruzione delle pile a corrente costante, si possono vedere gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. vi, p. 79, e t. ix, pag. 269.

(2) *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. ii, pag. 608.

S'immerge nel liquido un sacchetto di pelle o di budello, cui in seguito fu sostituito un vaso cilindrico di stoviglia porosa o meglio di porcellana non vetriata, dove si contiene dell'acqua salata o leggermente acidulata in ragione di 1 parte d'acido solforico per ogni 10 d'acqua, come pure una verga di zinco amalgamato. Parecchie di queste combinazioni riunite in serie, mettendo al solito il rame dell'una in congiunzione collo zinco della seguente, formano l'*elettromotore alla Daniell*, pel quale ha luogo una corrente elettrica che dura per molte ore con forza costante, quando si abbia la cura di mantenere ben satura la soluzione di vitriolo, aggiungendovi nuovi cristalli. Per conseguire il rinnovamento dei liquidi delle coppie durante il tempo che la pila rimaneva in azione, e così rimuovere anche per questa parte qualunque causa che disturbi la costanza della corrente; l'autore in origine aveva congiunti i recipienti cilindrici con sifoni di vetro, mediante i quali il liquido veniva cambiato a misura che era ridotto il solfato in esso sciolto e se ne sostituiva altro saturo di quel sale (1). Rendendo i sifoni l'elettromotore molto complicato ed assai incomodo ed imbarazzante nella pratica, ed essendo d'altronde necessarii se non nei casi *in cui l'azione deve essere mantenuta durante più di 10 in 12 ore*, Daniell li ha abbandonati costruendo l'apparato nella sua semplicità.

Wheatstone, all'acqua acidulata ed al cilindro di zinco in essa immerso, ha sostituito l'amalgama di zinco presso che fluida. Il recipiente d'argilla è per ciò di piccole dimensioni, e nelle coppie dell'autore ha 25 millimetri di profondità e 18 di diametro. Egli invece dell'amalgama di zinco, ha fatto uso altresì di quella di potassio, la quale somministra una corrente di maggior energia (2). La corrente nel primo caso si conserva per molto tempo costante.

1339. Grove impiegò pure due liquidi, e il suo apparato consiste in un recipiente di porcellana poco cotta e non ismaltata, dove si contiene dell'acido nitrico puro. Il recipiente è collocato in altro simile di vetro contenente dell'acqua acidulata, essendo immersa una piastra di platino nell'acido nitrico ed altra di zinco amalgamato nell'acqua acidulata. Parecchie di queste disposizioni, congiunte nel modo solito, formano l'*elettromotore alla Grove*, il quale a pari circostanze riesce più energico di quello di Daniell e la corrente elet-

(1) Si vegga *Traité de l'électricité et du magnétisme* par Becquerel, t. v, parte seconda, pag. 193.

(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xii, pag. 270; e t. xv, pag. 138

trica dura in esso e si conserva costante per molto tempo, quando l'acido nitrico sia ben puro. Grove ha trovato per es. che con un suo elettromotore composto di 7 coppie produceva l'eguale effetto d'una pila comune d'eguali dimensioni composta di 55 in 60 coppie.

Pel caro prezzo del platino, alcuni cercarono di sostituire a questo metallo del *rame platinizzato*, cioè coperto alla superficie d'uno strato di platino. Questo mezzo ha dato qualche risultamento, ma pare che non abbia soddisfatto in tutto allo scopo. Sturgeon trovò vantaggioso a sostituire al platino la ghisa o la grafite (1). Aggiungiamo altresì che il ferro, quando sia stato riscaldato al calor rosso e subito dopo raffreddato, non è intaccato dall'acido nitrico di 1,35 di peso specifico, e si diporta accoppiato collo zinco come il platino nell'elettromotore di Grove. Si pensò quindi di sostituire al platino il ferro così preparato detto *anomalo* nella costruzione dell'elettromotore a forza costante (2). Il principe di Leuchtenberg si è servito del ferro ordinario come elemento positivo della coppia voltaica ad uso della galvano-plastica (3).

1560. Al platino fu sostituito da Bunsen cilindri di carbone cavi, servendosi nel resto degli stessi elementi di Grove. Si prepara il carbone calcinando convenientemente in forma di ferro un miscuglio di carbone fossile purificato o *coche* e di carbone simile grasso, ambidue finamente polverizzati. Il carbone così calcinato si lavora in cilindri e poscia s'immerge in una soluzione concentrata di zucchero e si calcina di nuovo. Acquista in tale stato abbastanza consistenza ed è proprio all'uso. Il cilindro cavo ed aperto da ambidue i lati sta immerso nell'acido nitrico e dentro la cavità è collocato il vaso di porcellana contenente l'acqua acidulata e lo zinco amalgamato (4). I cilindri di carbone sono circondati da anelli di rame per metterli in comunicazione con quelli di zinco, ed avere così l'*elettromotore alla Bunsen*.

Il vantaggio della disposizione di Bunsen su quella di Grove è di servirsi d'un corpo di minor prezzo del platino, qual è il carbone, per cui si può dare all'elemento elettro-negativo della coppia maggior estensione dell'elemento elettro-positivo, e così ottenere anche per questa parte maggior attività nella corrente elettrica (§ 1554). Silliman ha variato la pila usando invece del carbone dei cilindri di piom-

(1) Gli *Annali* precedentemente citati, t. vi, pag. 82.
(2) Lo stesso tomo degli *Annali*, pag. 85-87.
(3) *Annali* succitati, t. xxi, pag. 139.
(4) I medesimi *Annali*, t. ix, pag. 273.

bagine. Da tale elettromotore egli dice d'aver ottenuto a pari circostanze degli effetti superiori a quelli che si hanno colla pila alla Bunsen (1).

1361. De la Rive ha posto in un truogo di terra porosa una sottile lamina di platino, che ha circondato di perossido di piombo ben ricalcato. Il truogo di porcellana è immerso in acqua acidulata contenuta in un vaso di vetro unitamente alla lamina di zinco amalgamato. Si unisce al solito il platino d'una di queste disposizioni collo zinco di quella contigua per avere l'elettromotore (2). L'autore osserva che con una coppia di Grove, nella quale invece del perossido vi ha l'acido nitrico, si produce appena nelle stesse circostanze la decomposizione dell'acqua essendo nulla questa decomposizione con una coppia di Daniell; mentre colla coppia eguale a perossido di piombo la decomposizione è molto sensibile.

Il vantaggio che presenta questo elettromotore si è d'aver bisogno della sola acqua acidulata per liquido, e di non essere soggetto, come quello di Grove, alle nocevoli esalazioni dei gas nitrosi. L'elettromotore di Grove conserva per maggior tempo costante la corrente di quello a perossido. De la Rive ha trovato vantaggioso di riunire in serie una coppia di Grove, una di Daniell ed una di perossido. Questa pila è più energica di quella formata di due coppie di Grove e di due di perossido.

Smee ha levato il diaframma poroso cercando solo d'impedire che l'idrogeno rimanga sulla piastra di platino. A tal fine ha trovato che la superficie della piastra elettro-negativa deve essere coperta d'una moltitudine di scabrosità. Si può solcare in diverse direzioni la lastra di platino, oppure servirsi di piastra di rame su cui si deposita dell'altro rame, mettendola al polo negativo in una soluzione di solfato dello stesso metallo. In tal modo la superficie diventa scabra, su cui si fa depositare un lieve strato d'argento e su questo argento un lieve strato di platino. Ha anche sostituito alla piastra platinata un tessuto di fili di rame inargentato e poscia platinato nello stesso modo. La coppia è immersa nell'acqua acidulata.

1362. Nell'America Callan sostituisce una lamina di piombo al carbone od al platino delle pile di Bunsen e di Grove. Nel confronto che ne fece con quella di Grove caricata coi medesimi liquidi (acido nitrico ed acido solforico allungato), egli osservò che la corrente

(1) *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. XVIII, pag. 285.
(2) *Annali* suddetti, t. XX, pag. 162.

prodotta dalla pila a platino aveva al principio doppia energia di quella della pila a piombo, a capo però di ore 3 $^1/_2$ la corrente della seconda pila divenne al contrario due volte e mezzo più energica di quella della prima (1). Fece uso altresì, invece dell'acido nitrico, di una soluzione di nitrato di potassa nell'acido solforico allungato con altrettanto in peso d'acqua, dove immergeva il piombo; ed ottenne da un elettromotore composto di queste coppie degli effetti calorifici e magnetici superiori a quelli della pila di Grove fatta con acido nitrico ed acido solforico. L'autore osserva altresì che, servendosi della soluzione di salnitro e d'acido solforico per caricare la pila a platino, si ottiene la corrente d'eguale intensità di quando si fa uso di acido nitrico ed acido solforico concentrati.

Desbordeaux ha reso costante la corrente nella pila a doppio rame (§ 1354), adoperando per liquido eccitatore la soluzione sufficientemente concentrata di solfato di zinco, alla quale aggiunge un poco di solfato di rame e di acido solforico. Il piliere in tal modo montato agisce, secondo l'autore, colla medesima intensità per qualche giorno di seguito e non ha bisogno d'essere pulito, diventando tanto più regolare la corrente quando più se ne prolunga l'azione. La soluzione di zinco si concentra a spese degli elementi di cui si compone. Allorquando la corrente incomincia a diminuire, basta d'aggiungere una piccola quantità di solfato di rame e di acido solforico (2).

1363. Quantunque dotata di poca energia, dobbiamo annoverare negli elettromotori descritti la *pila a terra*, la cui prima idea è dovuta al principe Bagration (3). La costruzione di questo apparecchio è la più semplice e la meno costosa di tutti quelli finora conosciuti. Consiste esso in vasi comuni di stoviglia, che si riempiono di terra saturata di soluzione assai concentrata di cloruro d'ammoniaca o di sal ammoniaco, dentro cui si piantano a qualche distanza l'una dall'altra le piastre di rame e di zinco, e si ha una coppia voltaica, la cui corrente diventa in breve costante, potendo essere mantenuta in tale stato durante mesi, avendo cura soltanto di inumidire di tempo in tempo la terra colla soluzione e di rinnovare, se è necessario, la piastra di zinco. Avanti di collocare la piastra di rame nella terra è bene d'immergerla per alcuni minuti nella soluzione di sal ammoniaco e di lasciarla disseccare finchè siasi formato alla superficie uno strato verdognolo.

(1) *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. XXVIII, pag. 87.
(2) I medesimi *Annali*, t. XVII, pag. 183.
(3) *Annali* suddetti, t. XIV, pag. 284.

Sulla pila a terra sono state istituite parecchie sperienze, in quanto che essa può essere utile pei telegrafi. È stato trovato molto proprio l'acido solforico allungato (1), come si usa pei telegrafi in Inghilterra adoperando l'arena invece della terra comune. Da alcune sperienze, che il prof. Botto ed io abbiamo istituito, sembra che la cenere e l'argilla debbano essere preferite all'arena nella costruzione di queste pile (2).

1364. Alla specie di pile descritte appartengono quelle formate di due liquidi eterogenei coll'intermedio d'un conduttore umido od un metallo. Esse dipendono dalle combinazioni stabilite da Volta per la costruzione degli elettromotori (§. 1349). Davy ha formato una pila con liste di rame immerse per una loro estremità in soluzione allungata di acido nitroso o di nitrato d'ammoniaca e per l'altra in solfuro di potassa liquido.

La combinazione più attiva di questo genere è quella formata di acido nitrico ordinario ed una soluzione di solfuro di potassa separati da uno strato di terra porosa. Lastre di platino pescano nei liquidi e servono di reofori della coppia voltaica, colla quale si può decomporre l'acqua (3). Si forma l'elettromotore composto di più coppie con tale combinazione, servendosi di vasi cilindrici di porcellana porosa, dove si versa l'acido nitrico della densità di 1,35, e di altro vaso cilindrico di vetro di doppio diametro, in cui s'introduce il primo e si versa la soluzione di solfuro potassico della densità di 1,14. Con foglie cilindriche di platino poste nei liquidi si riuniscono le combinazioni al modo solito, e si forma l'elettromotore composto del numero di coppie, che si desidera.

1365. Progrediamo nella rassegna degli elettromotori avanti di discutere la teorica per ispiegare in ogni caso la generazione e l'energia della corrente. Gassiot costrusse l'elettromotore a corona di tazze di Volta (§. 1352) con 3520 coppie formate di cilindri di rame e di zinco che pescavano in acqua pura contenuta nelle singole tazze di vetro. Tutte queste coppie erano distribuite in 44 ordini ciascuno di 80 coppie (4). Si manifesta già una tensione polare sensibile all'elettroscopio a foglietta anche con una sola coppia. Quando il numero

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, seconda serie, t. IV, pag. 474.

(2) Gli stessi *Annali* della 2ª serie, t. I, pag. 48. Si vegga eziandio per queste pile gli *Annali* della 1ª serie, t. XXI, pag. 286; e t. XXII, pag. 440.

(3) *Annali* suddetti, t. IX, pag. 281.

(4) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXI pag. 272; e t. XXII, pag. 492.

delle coppie è considerevole la tensione s'ingrandisce al segno da presentare una successione di scintille alle estremità polari della batteria poste a conveniente distanza Gli effetti statici precedono il compimento del circuito, ed i dinamici hanno luogo anche quando i fili polari sono ravvicinati in modo d'avere una successione non interrotta di scintille.

1366. Si è veduto che Volta formava una coppia elettromotrice colla lamina d'un sol metallo, raschiandone un'estremità e rendendola lucente e solcata di strie (§ 1330) La lamina si mostra elettro-positiva dal lato lucente e striato, ed elettro-negativa dall'altro lato. Con lamine così preparate e con un solo liquido si costruisce l'elettromotore composto.

Watkins, all'appoggio di tale principio, ha costrutto una pila di Volta composta d'un solo metallo e d'aria umida per conduttore intermedio. Egli si è servito di piastre di zinco una cui superficie era ben levigata e polita, mentre l'altra si riduceva ineguale e scabra. Le piastre erano fissate parallelamente fra loro a piccolissima distanza in truogo di legno, colle superficie polite e lucenti tutte rivolte verso lo stesso lato, ed a ciascuna delle quali stava a riscontro la superficie ineguale e striata della piastra contigua. Questa combinazione voltaica dava segni di tensione elettrica alle sue estremità, al pari di un elettromotore ordinario (1). L'umidità dell'aria interposta fa le veci del liquido intermedio, e le superficie di ciascuna piastra di zinco poste in differente stato adempiono all'ufficio degli elementi della coppia. Da esperienze istituite in grande da Page in America sembra infatti che l'aria molto umida sia conduttrice della corrente voltaica (2).

1367. L'elettromotore che più d'ogni altro conserva costante la corrente, è la *pila a gas* imaginata da Grove, da cui ritrae nuova luce la causa generatrice della corrente elettrica. Affine di comprendere la costruzione di questo mirabile apparato, rammentiamo che l'ossigeno è un corpo eminentemente elettro-negativo e l'idrogeno eminentemente elettro-positivo (§ 1337). Oggidì si conosce come due lamine di platino, dopo essere state rispettivamente immerse nell'idrogeno e nell'ossigeno, siano capaci d'ingenerare una corrente, nella quale la lamina dell'idrogeno adempie all'ufficio di corpo elettro-positivo e quella dell'ossigeno d'elettro-negativo. Parimenti riempiendo d'acqua comune un vaso diviso in due compartimenti da un dia-

(1) *Annales de physique* ecc., fascicolo d'agosto 1828, pag. 442.
(2) I medesimi *Annali*, t. XXVI, pag. 174.

framma poroso, e facendo gorgogliare dell'idrogeno per una porzione del liquido e dell ossigeno per l'altra porzione, le due masse d'acqua riunite in circuito con filo di metallo danno nascimento ad una corrente elettrica. I fenomeni annunziati dipendono evidentemente dalla facoltà elettromotrice, di cui sono dotati i due gas disposti nel primo caso in veli sottilissimi sulle lamine di platino e sparsi nel secondo in esilissime bolle nell'acqua dei due compartimenti del vaso L'idrogeno e l'ossido di carbonio sono i gas più elettro-positivi, mentre il cloro e l'ossigeno i più elettro-negativi. La forza elettromotrice, che si manifesta nella produzione della corrente elettrica dà luogo eziandio a segni di tensione col mezzo del condensatore La superficie dei piatti di questo strumento sono d'oro I due gas aderenti alle lamine di platino comunicano rispettivamente col collettore e col piatto attuante, e presentano in tal modo alle foglielte dell'elettrometro i segni di tensione (§. 1346).

La pila a gas di Grove è una delle applicazioni più luminose della facoltà elettromotrice dei gas idrogeno ed ossigeno, agenti l uno sull'altro coll'intermedio del platino. La figura 339 rappresenta uno degli elementi di questa pila: *abcd* è una giara, cui si adatta il coperchio *ab* che la chiude ermeticamente essendo per ciò circondato da una lista di sovero. Il coperchio o gran tappo, rappresentato nella sua pianta *f*, è munito di due fori destinati a ricevere i tubi o, *h* chiusi superiormente e stabilmente ad esso fissati, di cui l uno *h* ha la capacità doppia dell'altro *o* Il coperchio si può levare per introdurre i gas nei tubi, in ognuno dei quali lungo l'asse è collocata la laminetta di platino *pq*, *p'q'*. Le lamine sono leggermente incurvate verso gli orli verticali per dar loro abbastanza rigidità da rimanere diritti. Queste lamine sono congiunte inferiormente a grossi fili di platino ripiegati a squadra e suggellati nel vetro; i fili sporgono al l'infuori portando i bacinetti di rame *g*, *g'* dove si versa il mercurio per le congiunzioni.

Per caricare la coppia voltaica a gas, s'empisce di liquido la giara ed i tubi, e s'introduce nel tubo *h* l'idrogeno e nell'altro *o* l'ossigeno mediante un cannello incurvato in comunicazione colla vescica contenente il gas Mettendo in comunicazione con filo metallico il bacinello *g* e l'altro *g'*, si ha la corrente nel filo medesimo. Parecchie di queste coppie disposte in serie coll'unire la lamina dell'idrogeno di una di esse con quella dell'ossigeno della contigua, formano la *pila voltaica a gas*.

Nella fig 340 è rappresentata una seconda foggia di coppia vol

luca a gas. Il vaso *bcde* è di vetro o di porcellana ed ha la forma parallelepipeda; i tubi di vetro sono applicati a pezzi di legno *ab*, *ac*, e si possono levare dal vaso o truogo unitamente ai pezzi di legno. Lo spazio fra i due tubi è sufficientemente grande per lasciare passaggio alle dita e chiudere con tappo l'orifizio del tubo, che si vuole levare dall'apparecchio. La laminetta o foglia di platino è assicurata al pezzo di legno e passa al disotto dell'orlo del tubo, portando all'estremità, invece del bacinetto a mercurio, il morsetto per attaccarvi il filo di congiunzione. Questa disposizione riesce molto più comoda della precedente per operare sui tubi, ma ha l'inconveniente d'immergere le dita nell'elettrolito, ciò che non si potrebbe quando fosse corrosivo. L'autore ha fatto eziandio uso d'una boccia a tre tubulature, adattando i tubi a gas alle due estreme mediante tappi di vetro che formano un sol corpo coi tubi. Le lamine di platino sono sospese a fili dello stesso metallo, che passano attraverso il vetro, sono con esso perfettamente suggellati e sporgono all'infuori per le comunicazioni. Per alcune particolari indagini riesce utile questa terza disposizione. Il tubo più piccolo è dell'ampiezza di centimetri cubi 20,48 (poll. cub. 1 ¼), e l'altro ha doppia capacità. Le lamine furono coperte di deposito polverulento del medesimo metallo col metodo dell'elettro plastica precipitando il platino dal cloruro, come insegneremo. La pila era caricata con acido solforico allungato del peso specifico 1,2, e Grove con 50 coppie ottenne gli effetti seguenti: 1.° la scossa provata contemporaneamente da cinque persone, 2.° la deviazione dell'ago galvanometrico, 3.° una forte tensione all'elettroscopio a foglietle, 4.° una brillante scintilla fra due punte di carbone visibile anche di giorno, 5.° la decomposizione dell'ioduro di potassio, dell'acido idroclorico, dell'acqua mista ad acido solforico. La corrente pel platino dell'elettromotore è diretta dall'ossigeno all'idrogeno, e nel filo congiuntivo dall'idrogeno all'ossigeno, e ciò in corrispondenza delle altre pile. Grove trovò che 26 coppie erano il minimo numero capace a decomporre l'acqua acidulata, ma con 4 coppie si decomponeva l'ioduro di potassio.

L'autore all'ossigeno ha sostituito l'acido nitrico a contatto col platino, lasciando nell'altro tubo l'idrogeno. L'acido era sufficientemente allungato per non intaccare le parti di legno dell'apparato. Con tre coppie di questa disposizione si decompone l'acqua. L'autore adoprò l'ossigeno accoppiato colla soluzione di protosolfato di ferro invece dell'idrogeno, ed ottenne pure la corrente, i cui effetti andavano diminuendo. Sperimentò eziandio parecchi altri corpi e gas, fra

i quali il cloro accoppiato coll'idrogeno, che produsse degli effetti più energici di quelli dell'ossigeno collo stesso idrogeno. Ha istituito altresì molte indagini per applicare il suo apparato all'igrometria (1).

1368. Gli effetti statici degli elettromotori si hanno a circuito interrotto, ed essi sono molto deboli in confronto dei fenomeni dinamici prodotti dalla corrente a circuito compiuto. In quanto ai semplici segni elettrici diremo che le pagliuzze dell'elettrometro divergono di parecchi gradi, quando si mette in comunicazione col polo isolato della pila composta di 60 in 70 coppie. La tensione cresce col numero delle coppie, e colla facoltà elettromotrice degli elementi delle coppie stesse, quando il liquido non abbia influenza sulla medesima, come vedremo. Nella pila di Gassiot di 3520 coppie (§ 1365) la tensione era grandissima. Questo fisico ha trovato che la tensione riesce più distinta e sensibile all'elettroscopio anche con una sola coppia di Grove, isolando tutto l'apparato. Egli ha osservato che da una pila a gas si hanno per lungo tempo forti segni di tensione senza che i gas diminuiscano, come succede quando circola la corrente. Una boccia od una batteria di Leida si caricano colla pila alla tensione da questa manifestata. I fili reofori si attraggono sensibilmente avvicinati per le loro estremità, fra le quali balena la scintilla anche con molto minore numero di coppie, principalmente se queste sono a larghe piastre o se l'elettromotore è fatto alla maniera di Bunsen o di Grove. Si trae la scintilla da una sola coppia a doppio rame a larghe piastre allungando il filo eccitatore e ripiegandolo in ispira. La proprietà del filo eccitatore così allungato di facilitare la scintilla dipende, secondo Nobili, da una maggior quantità d'elettrico accumulato, che perciò egli chiama *condensatore elettro-dinamico* (2); ma essa è dovuta molto più all'induzione del fluido, che circola nelle spire, di cui quanto prima parleremo. In generale la scintilla ha luogo tanto nell'interrompere quanto nel compiere il circuito, ed alla distanza di piccolissima frazione di millimetro per la debole tensione.

Si abbiano due eguali bocce di Leida, l'una caricata ad una data tensione coll'elettrico tratto dalla macchina a stropicciamento per es. a disco di resina, e l'altra caricata al polo positivo d'una pila di gran numero di coppie, che spieghi l'eguale tensione, se poscia si mettono in comunicazione fra loro le rispettive armature dei due appa-

(1) Si veggano gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xv, pag. 288, t. xix, pag. 3 e 115, t. xxiii, pag. 208, e t. xxvi, pag. 113 e 201.

(2) Si vegga l'*Antologia di Firenze*, n° 136 del 1832.

rati di Leida (§. 1313), si trova che le loro cariche si elidono reciprocamente. Quest'esperienza prova, come notava Volta, l'identità del fluido sviluppato dalla pila con quello tratto dall'ordinaria macchina elettrica.

1369. La tensione elettrica, che prende un conduttore isolato ed allo stato naturale in presenza d'altro conduttore effettivamente elettrizzato, si è distinta col nome di *elettricità attuata* (§. 1272). Ha luogo dunque in questo caso uno *squilibrio statico* dell'elettrico naturale ad un conduttore per l'influenza dell'*elettricità statica* di cui l'altro corpo è caricato. Fenomeni somiglianti avvengono per l'influenza del fluido elettrico in movimento, e si presentano con correnti istantanee in un filo conduttore allo stato naturale contiguo a quello, pel quale effettivamente transita l'elettrico. Quelle correnti istantanee sono ora chiamate dalla maggior parte dei fisici *correnti indotte* o per *induzione*. Non bisogna quindi confondere l'*elettricità attuata* coll'*elettricità indotta*: la prima è un *fenomeno statico*, di cui si è a lungo parlato nella precedente sezione; la seconda è un *fenomeno dinamico*, di cui ora ci occupiamo.

Le correnti indotte possono essere ingenerate tanto da quelle continue del piliere, quanto dal torrente o dalla corrente discontinua dell'elettricità ordinaria, come pure dall'azione delle calamite: nel primo caso si ha l'*induzione voltaica*, nel secondo l'*induzione di Leida* e nell'ultimo l'*induzione magnetica*.

1370. L'induzione voltaica fu scoperta da Faraday, il quale nel novembre del 1831 presentò alla Società R. di Londra la sua prima Memoria (1). Due fili di rame, ciascuno della lunghezza di circa metri 66 (203 piedi), furono avvolti ad un grosso cilindro di legno in maniera da formare una spira, i cui giri erano fatti alternativamente dall'uno e dell'altro filo. Affinchè non vi fosse contatto metallico fra i consecutivi giri appartenenti ai fili, questi erano separati da un inviluppo isolatore. Le estremità del filo di una delle eliche comunicavano col galvanometro, mentre quelle dell'altra si congiungevano coi poli dell'elettromotore. Nell'istante del compimento del circuito voltiano si osservava un'improvvisa deviazione nell'ago dello strumento; ed una deviazione simile, ma in opposto verso, si ripro-

(1) Il celebre fisico inglese lesse nel gennaio 1832 a quel consesso la seconda delle Memorie, nelle quali trattò dell'induzione voltaica e magnetica, di cui vien dato l'estratto nella *Bibliothèque universelle* di Ginevra, fascicolo d'aprile 1832, pag. 341-371 e fascicolo di maggio pag. 7-26.

duceva al momento in cui il circuito veniva interrotto. Durante però tutto il tempo della circolazione della corrente voltiana, anche la più intensa, per uno dei fili piegati in elica, non si manifestava la benchè minima azione sull'ago del galvanometro, che comunicava coll'altra elica. Le deviazioni accadevano soltanto al momento che si compiva o s'interrompeva il circuito, ed in ciascuno dei due casi in verso opposto. La corrente istantanea è appunto la *indotta*, che nasce nel contiguo filo all'incominciare ed al cessare della *corrente primaria* della pila, per cui fu chiamata da alcuni anche *corrente secondaria*, denominazione che da parecchi fisici si è abbandonata per non confonderla con altra corrente dello stesso nome dovuta a causa del tutto differente.

Le correnti indotte si ottengano eziandio con eliche separate e mobili in modo da poterle ravvicinare od allontanare l'una dall'altra. L'una, percorsa permanentemente dalla corrente del pila, si accosta all'altra in comunicazione col galvanometro, il quale dà indizio dello sviluppo della corrente. Questa corrente cessa tosto che le eliche siano giunte al massimo ravvicinamento e rimangano in tale posizione, per quanto la primaria continui a circolare per l'elica portata in contiguità dell'altra in comunicazione col galvanometro. All'atto però che la prima elica si discosta, ricomparisce nella seconda la corrente diretta in verso contrario della prima induzione. Questi fenomeni dell'*induzione elettro-dinamica* sono analoghi a quelli dell'*attuazione elettro-statica*. Gli apparati più proprii per istituire le sperienze delle correnti indotte nella scuola sono rappresentati nella fig. 341. Alle volte è un filo di rame coperto di cotone o di seta e del diametro di circa 1 millimetro piegato in elica piana A, in altri casi, per aumentare la conducibilità, conviene avere la spirale piana B fatta con sottili liste o nastri di rame. Per semplificare il discorso riterremo il nome di *eliche* a quelle fatte con fili, e di *spirali* a quelle altre formate con listerelle. Le eliche e le spirali devono avere tali dimensioni da poterle applicare nelle sperienze l'una dentro nell'altra oppure l'una su l'altra, come mostra la figura. Facendo transitare la corrente voltaica per filo dell'elica, si potrà produrre l'induzione nella lista metallica della spirale o viceversa. Le correnti indotte possono riuscire d'energia tale da produrre la scossa, in questo caso importa che la corrente primaria transiti per la spirale ossia pel conduttore grosso e corto, mentre la indotta deve essere generata nell'elica, ossia pel conduttore sottile e lungo.

Aggiungiamo che le correnti indotte si ottengono altresì mediante

due fili rettilinei di metallo come pure con fili piegati similmente sotto qualunque figura, posti fra loro vicini senza toccarsi, l'uno dei quali si mette in comunicazione col galvanometro e l'altro col pilere. Rompendo od interrompendo in questo il circuito voltaico si risvegliano in quello le correnti indotte, lo stesso avviene avvicinando o discostando il primo dal secondo filo, mentre continua a circolare la corrente del pilere. In questi casi l'induzione riesce molto meno energica che coi fili rivolti in ispira. In generale quando s'interpone fra il circuito induttore e l'indotto una piastra metallica, la corrente secondaria viene indebolita, si disse in generale perchè in certe circostanze l'indebolimento non ha luogo (1). Lo stesso accade d'una spirale od elica chiusa, interposta ai due circuiti induttore ed indotto. L'interposizione d'un corpo coibente non produce differenza sensibile nella corrente indotta, quando si conservi la stessa distanza.

1371. Le correnti indotte possono generare in altri fili una seconda, una terza ecc. induzione, e con eliche e spirali somiglianti a quelle della fig. 341 si dimostrano nella scuola le leggi di tali correnti. Per avere le correnti indotte dei diversi ordini, si collochi una spirale od elica piana sopra il sostegno isolatore, e al disopra di essa una seconda elica: al momento che nella prima s'introduce la corrente voltaica, avrà nascimento nella seconda la corrente indotta. Se le estremità dell'ultima elica comunicano rispettivamente coi capi d'una terza posta pure sopra un piano coibente, la corrente indotta circolerà anche per la terza elica e genererà, in altra elica postavi sopra, la corrente di seconda induzione. La quarta elica, comunicando nell'egual maniera con una quinta, trasmetterà a questa la corrente di seconda induzione, la quale è capace di produrre la corrente di terza induzione nella spirale collocata sopra di essa. Progredendo in tal guisa con altre eliche si potranno avere ben anche delle ulteriori induzioni, le quali si ottengono alle leggi seguenti.

Se si chiama corrente di *primo ordine o primaria* la corrente stessa del pilere di Volta, all'istante in cui è interrotta determina nel conduttore vicino la corrente indotta o di *secondo ordine*, la quale è diretta nello stesso verso della primaria. Facendo agire la corrente di secondo ordine sopra un terzo conduttore, abbastanza distante per non provare l'influenza di quella del primo, si sviluppa una nuova corrente indotta o di *terzo ordine*, la cui direzione è opposta a quella del secondo. La corrente di terzo ordine, agendo nell'egual modo sopra un

(1) *Annali di fisica* ecc. [illegible] pag. 120.

quarto conduttore dà nascimento in esso alla corrente di *quarto ordine,* diretta in contrario verso di quella del terzo. Fenomeni analoghi avvengono al momento in cui si compie il circuito voltaico; ma allora la corrente di secondo ordine è diretta in opposta direzione alla voltaica induttrice, e succedono i cangiamenti di segno, in quanto alla direzione delle correnti, negli ordini successivi. Nel caso dell'*interruzione* e del *compimento nel circuito* della corrente primaria del piliere si hanno, per la successione dei segni delle diverse correnti indotte, le serie seguenti:

	All'atto dell'	
	interruzione	*compimento*
Corrente del piliere o di *primo ordine*	*segno* +	*segno* +
Prima corrente indotta o di *secondo ordine*	» +	» —
Seconda corrente indotta o di *terzo ordine*	» —	» +
Terza corrente indotta o di *quarto ordine*	» +	» —
Quarta corrente indotta o di *quinto ordine*	» —	» +

L'opposizione dei segni nella direzione delle correnti indotte secondo che il circuito della primaria è interrotto o compiuto, danno ragione come un'elica chiusa in se stessa interposta al circuito induttore ed a quello indotto, scemi l'induzione. Si comprende altresì come si abbia la scintilla da una sola coppia voltaica aggiungendo ad ambedue le piastre elettromotrici un lungo filo piegato in elica (§. 1308). Nei giri di ciascuna elica si sviluppa per induzione una corrente in virtù di quella primaria, che *incomincia* o *cessa* di percorrere il giro contiguo. Nel caso dell'*incominciamento* della corrente primaria o del *compimento* del circuito, l'indotta nel giro seguente va in opposto verso della primaria stessa da cui immantinenti è invaso, e quindi la corrente della coppia voltaica è contrariata e viene così diminuita dalla indotta. Nel caso invece della *cessazione* della corrente primaria o dell'*interruzione* del circuito la corrente indotta va nello stesso verso ed è cospirante colla primaria, e questa viene così rinforzata e diventa più energica. Ecco la ragione per cui si ha la scintilla da una sola coppia voltaica colle appendici delle eliche all'atto che s'interrompe il circuito e non al momento che si compie. L'induzione voltaica è stato soggetto d'indagini, dopo Faraday, di parecchi fisici italiani e stranieri (1).

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. III, pag. 50; t. VII, pag. 22 e 163, t. VIII, pag. 113, e t. XVIII, pag. 225.

1372. Sul principio dell'induzione è fondato un apparato, col quale si ha una serie di correnti energiche mediante una sola coppia voltaica. Quest'apparato, che in parecchie circostanze può adempiere all'ufficio di potente elettromotore, è nato poco dopo la scoperta delle correnti indotte, e noi siamo stati i primi a farlo conoscere in Italia, dandogli il nome di *elettromotore per induzione*, che venne adottato (1). La sua costruzione è stata variata per renderlo comodo nel trasporto ed agli usi terapeutici, e noi diamo la descrizione di quello più adatto alle sperienze ed alle dimostrazioni nella scuola.

La figura 342 rappresenta l'*elettromotore per induzione* in discorso. Al tubo di legno B sono avvolti i due fili: l'uno per cui transita la corrente induttrice e l'altro dove viene risvegliata la corrente indotta. Il filo della spirale per cui trascorre la corrente primaria, ha d'ordinario la lunghezza di 30 metri e la grossezza di circa millimetri 1 $^{1}/_{4}$; quello dell'altra spirale dove ha nascimento la corrente indotta è della lunghezza almeno di 500 metri e del diametro di $^{3}/_{5}$ di millimetro. Si sono fatti degli elettromotori per induzione che hanno il filo indotto della lunghezza ben anche di qualche migliaio di metri. Il tubo di legno ha, come la spuola, alle estremità gli orli alquanto rilevati per ritenere i fili di rame, che formano le due spirali induttrice ed indotta. I fili sono coperti di seta o di cotone a più doppi per isolare non solo una spirale dall'altra, ma ben anche i singoli giri delle medesime fra loro. Il tubo di legno è a parete molto sottile per lasciare spazio a ricevere nel suo interno un grosso mazzo di sottili fili di ferro dolce, i quali, come vedremo, si magnetizzano temporariamente e servono a rendere più energica la corrente indotta. Nei due fili *f*, *g* vedonsi le estremità della spirale corta e sono ritenuti con viti nei due morsetti 2 e 3. La tavoletta GG, su cui è posto il tubo delle spirali, è congiunta con assicelle e forma con queste una specie di telaio, sopra un lato del quale s'innalzano le due colonnette di ottone O, O poste rispettivamente in comunicazione verso la loro base coi morsetti 1 e 3. Una di quelle colonnette sostiene la ruota dentata D di metallo, che si mette in moto mediante il rispettivo manubrio. La molla d'acciaio E, fissa all'altra colonnetta, appoggia e preme sui denti della ruota. In H, H vedonsi due cilindri d'ottone congiunti colle estremità della spirale a lungo filo, dove si sviluppa la corrente indotta. Le coppie o la coppia voltaica, che somministra la corrente induttrice, è rappresentata in C. La corrente

(1) *Annali di fisica* ecc. pub. [illegible] t. I pag. 28[illegible]

voltaica passa pel filo *h*, perviene al morsetto 1, invade la ruota dentata, donde per mezzo della molla E si porta sull'altra colonnetta, e da questa, transitando pel morsetto 3, trascorre il filo *f*, entra nella spirale più corta, e risalendo per *g* invade il morsetto 2 e pel filo *i* viene alla piastra di zinco per poi attraversare il liquido della coppia elettromotrice e ripigliare il primitivo corso.

Al momento che la molla E, al girare della ruota, salta dall'uno all'altro dente, la corrente primaria è interrotta e si risveglia allora nella spirale lunga la corrente indotta, che transita pel corpo in comunicazione colle estremità H, H. La corrente indotta è, come si disse, istantanea e si ripete alternativamente per contrario verso all'atto che pel salto della molla E s'interrompe e si compie il circuito della corrente primaria. Superiormente alle colonnette vedonsi due fili metallici obbligati ad esse coi morsetti 4 e 5, e terminati, se bisogna, coi cilindri d'ottone K, K, per dove all'atto dell'interrompimento del passaggio per la molla E trascorre la corrente primaria, la quale è diretta sempre per lo stesso verso ed è alla sua volta rinvigorita da quella indotta.

1375. L'interruzione della corrente primaria si ottiene anche con un movimento rotatorio prodotto in un cilindro da una calamita voltaica cangiante. Il cilindro ha la superficie formata di materie conduttrici e coibenti, per le quali si compie e s'interrompe il circuito. Si dispone anche in modo che la corrente voltaica, ad ogni interruzione, prenda tosto un corso diretto in verso contrario al precedente e rinvigorisca maggiormente la corrente indotta, che è appena nata. Nelle dimostrazioni per la scuola ed anche per l'applicazione alla terapeutica riesce molto utile l'elettromotore descritto, il quale presenta la corrente primaria diretta sempre per lo stesso verso e rinvigorita dall'induzione reciproca dell'altra. In tal modo si ha il mezzo di decomporre l'acqua con una o due coppie voltaiche e di produrre altri effetti, che non si otterrebbero colla corrente indotta diretta alternativamente in contrario verso. D'altronde si può accelerare o rallentare il moto della ruota D, e quindi regolare a piacimento l'intervallo fra l'una e l'altra interruzione.

Coll'elettromotore per induzione si possono istituire nella scuola diverse sperienze: 1° dare la scossa ad una o più persone mediante la corrente indotta, facendo circolo coll'impugnare i cilindri H, H; 2° dopo aver levata la molla E dal contatto della ruota D ed assicurati rispettivamente ai morsetti 4 e 5 due fili, l'uno di rame in congiunzione con una lima e l'altro di ferro, si ottengono dalla cor-

rente primaria delle numerose scintille strisciando il filo di ferro sulla lima, 3° si sostituisca alla lima una lastra di latta resa scabra col bulino o colla lima, e si sparga su di essa della polvere da fuoco o meglio dell'argento fulminante od alcune gocce d'etere: strisciando sulla lastra col filo di ferro appariscono egualmente le scintille, per le quali s'infiammano quelle materie combustibili, 4° rimessa la molla al suo posto, si fanno comunicare le estremità dei fili, uniti ai cilindri K, K, con acqua acidulata, la quale è decomposta, 5° se a due lamine di platino, in congiunzione coi fili K, s'interpone una carta bagnata di ioduro di potassio, questo, dopo pochi giri della ruota, si decompone, mostrandosi con una macchia sulla carta

1374. L'induzione di Leida o coll'elettricità ordinaria fu invano tentata da Faraday, lo scopritore dell'induzione voltaica (§. 1370). L'elettrico ordinario trascorre ed abbandona troppo presto i fili metallici, per cui, al momento incomincia il suo corso, nasce nel filo contiguo la corrente indotta diretta per un dato verso, e subito dopo al cessare del torrente se ne produce un'altra in direzione contraria alla prima indotta: le due correnti si succedono quindi con tale rapidità, che si elidono e non danno indizio all'ago galvanometrico Con batterie di parecchie bocce di Leida si ha però qualche debole deviazione nell ago del galvanometro, e se il filo è soltanto isolato col semplice strato di seta ordinario, si vede balenare nel circuito dello strumento la scintilla, che prova l'esistenza della corrente indotta. La deviazione avviene perchè gli effetti sull'ago delle due correnti in verso opposto non sempre si distruggono

Altri mezzi servono a farci accorti dell induzione prodotta dall'elettricità ordinaria e in generale dalle correnti discontinue. Uno di questi è l'*elica magnetizzante*, od una piccola elica cilindrica nel cui asse si colloca un ago d acciaio Vedremo in seguito come una corrente elettrica continua o discontinua, circolando attorno ad una verga d'acciaio di ferro crudo, la magnetizzi; e la magnetizzazione sia tanto più permanente quanto più il ferro è crudo Mettendo quindi in comunicazione i capi dell'elica magnetizzante colle estremità della spirale dove si risveglia la corrente indotta, questa transita per l'elica stessa e ne calamita l'ago Il potere magnetico più o meno grande, che in tal guisa acquista l'ago, dà indizio del grado d'energia della corrente indotta, e dalla posizione poi dei suoi poli si deduce, come vedremo, il verso della medesima. Al riconoscimento della corrente si presta molto comodamente un cilindretto di ferro circondato da un'elica di filo di rame rivestito di seta o di cotone il cilindretto

così disposto si applica perpendicolarmente in vicinanza dell'ago calamitato in bilico sopra un perno; l'elica del cilindretto compisce il circuito della spirale indotta. Scaricando sull'altra spirale una boccia di Leida, la corrente d'induzione circola attorno al cilindretto di ferro, lo magnetizza ed in tale stato fa deviare l'ago d'un certo numero di gradi dai quali si giudica dell'energia della corrente indotta e della sua direzione. L'apparato così disposto ha avuto da Marianini il nome di *re-elettrometro*. Alle volte si giudica dell'intensità della corrente indotta dalla *scintilla che balena* fra gli estremi della spirale, ed anche dagli *effetti prodotti in una carta interposta* ai detti estremi. In alcuni casi può servire il metodo stesso adoperato da Harris per istabilire il grado di conducibilità dei metalli (§ 1332).

Per queste sperienze bisogna che le eliche e le spirali siano ben isolate nei loro giri, e con questa condizione possono essere formate come quelle dell'induzione voltaica (fig. 341). Talvolta giova l'interporre fra il circuito induttore e l'indotto una lastra di vetro, e ciò per evitare in ogni caso all'elettricità di tensione di cambiare cammino con iscariche laterali (§ 1315). Le sperienze nella scuola s'istituiscono meglio colla spirale indotta di forma cilindrica introdotta in tubo di vetro del diametro non minore di 10 centimetri e della lunghezza di alcuni metri, e recondano esternamente il tubo colla spirale induttrice parallelamente all'indotta (fig. 345). Le estremità della spirale interna escono dal cilindro per un tubetto di vetro e si congiungono coi capi dell'elica magnetizzante E entro cui è riposto l'ago d'acciaio, e in tal guisa si evita qualunque comunicazione fra i due conduttori. Scaricando per la spirale esterna la boccia di Leida B, si sviluppa in quella interna la corrente indotta, per la quale si magnetizza l'ago d'acciaio posto in E. Parecchi fisici coi metodi esposti si sono occupati dell'induzione di Leida (1), i cui risultati si possono ridurre ai seguenti: 1° la tensione e la carica della boccia di Leida influiscono sull'intensità e sulla direzione della corrente indotta, e in generale questa cresce in energia colla tensione e colla carica; 2° se la carica è debole oppure deve attraversare un conduttore imperfetto, la corrente indotta è diretta in opposto verso della primaria.

(1) Intorno a queste correnti d'induzione si veggano gli *Annali di fisica* ecc., t. I, pag. 17, t. VII, pag. 173, e t. XXI pag. 60, come pure due Memorie di Marianini *Sulle correnti prodotte dall'attuazione od induzione delle correnti elettriche istantanee*. Modena 1838 a 1839, e due di Riess negli *Annalen* di Poggendorff del 1838 e 1839.

in generale tutto ciò che tende ad allungare od abbreviare il tempo della scarica oppure quello del trascorrimento della corrente indotta, ha un'influenza rimarchevole sull'energia di questa corrente, 3º con una grande scarica di Leida la corrente indotta è diretta nello stesso verso dell'induttrice. Ecco come per una data carica la corrente indotta riesce abbastanza sensibile, e s'indebolisce poscia coll'aumentare la carica per avvicinarsi al limite in cui succede l'inversione; 4º se i due circuiti, induttore ed indotto, si allontanano l'uno dall'altro, si giunge sempre ad una certa distanza, alla quale la corrente indotta viene rovesciata. Questa quarta legge dipende dalle precedenti, giacchè colla distanza diminuisce l'induzione, 5º colle scariche della boccia di Leida si hanno pure delle induzioni di diversi ordini in circuiti disposti come nelle voltaiche.

1375 Nello stesso modo che nell'elettricità statica i corpi si attraggono (avvicinano) o si repellono (allontanano) secondo che si trovano in diverso o in omologo stato elettrico (§ 1211), in quella dinamica i conduttori percorsi dalle correnti elettriche mostrano dei fenomeni analoghi. Ampère ha imaginato diverse disposizioni per dimostrare i fenomeni elettro-dinamici, che ha riunito in un solo apparato generale. Ma per le dimostrazioni nella scuola riesce più comodo di possedere gli apparati proprii a ciascun esperimento. L'apparecchio per le attrazioni e ripulsioni elettro-dinamiche è rappresentato nella fig. 344. Esso consiste in un sostegno d'ottone ripiegato a squadra e fisso stabilmente in un basamento di legno, dove sono scavate tre vaschette P, Z, N. Sopra un lato di questo basamento si erige una specie di ventola V intorno a cui si avvolge un filo di rame coperto di seta, il quale da un lato va a mettere capo nella vaschetta Z e dall'altro nella vaschetta N. S. colloca dentro la coppa *a* del sostegno la punta superiore del conduttore mobile zz e s'eleva la ventola sino all'altezza del braccio verticale del conduttore medesimo, affine di mettere in presenza siffatto braccio coll'uno o coll'altro lato della ventola. Dopo aver fatto ciò, si compiono le comunicazioni per ottenere le correnti elettriche tanto nel conduttore fisso della ventola, quanto in quello mobile zz sospeso alla coppa del sostegno. A tal fine si versa del mercurio nella coppa *a* e nelle vaschette P, Z, N, e s'immergono rispettivamente nel mercurio di P, N i fili reofori d'un elettromotore composto di due in tre coppie. Il mercurio nella vaschetta Z si eleva in modo da accogliere in esso la punta inferiore del conduttore mobile zz.

La corrente della pila, che parte per es. da P, s'innalza pel soste-

gno d'ottone e giunge alla coppa *a*, donde discende pel conduttore mobile *zz* ed invade il mercurio contenuto nella vaschetta Z; da qui è incanalata pel filo di rame e gira intorno alla ventola ascendendo più volte per un lato e discendendo per l'altro; progredisce infine all'altra estremità del filo nel mercurio contenuto nella vaschetta N per ritornare nella pila a riprendere il suo corso Dalla circolazione della corrente si scorgerà di leggieri ch'essa è sempre discendente nel conduttore mobile *zz*, mentre in quello fisso della ventola V da un lato è discendente e dall'altro è ascendente. Ora si trova che, quando la corrente ascendente del conduttore *zz* è in presenza di quella pure ascendente pel filo moltiplicatore da un lato della ventola, vi ha attrazione, ed invece, rivolgendo la ventola in modo da presentare al conduttore mobile *zz* la corrente discendente, si ha ripulsione. Da ciò si deduce che *i conduttori percorsi da correnti parallele dirette per lo stesso verso si avvicinano* (attraggono), *i quali al contrario si allontanano* (repellono) *se sono percorsi da correnti dirette per opposto verso*. Nell elettro-magnetismo ritorneremo sull'azione dei conduttori percorsi da correnti. Intanto osserviamo che questa legge dell'elettricità dinamica si accorda con quella dell'elettricità statica dei corpi, che per attrazione tendono a rimuovere l'elettrico naturale all'aria interposta (§. 1241).

1376 Poco dopo l'invenzione della pila voltiana, Ritter fece transitare la corrente per una colonna somigliante alla pila medesima composta di piastre d'un solo metallo, rame, alternate dal conduttore umido Questo cumulo binario di conduttori di prima e di seconda classe distaccato dalla pila si trova che è diventato un vero elettromotore, chiamato per ciò *pila secondaria* (1) Sia RZ una pila di Volta, i cui poli sono congiunti mediante il cumulo AB di piastre dello stesso metallo intercalate da conduttore umido (fig. 245) dopo alcuni minuti, levate le congiunzioni e portato il cumulo AB in PN si trova che è diventato un vero elettromotore, nel quale l'estremità P, che comunicava collo zinco Z della pila, è il polo positivo e l'altra estremità N il polo negativo. Allorquando il cumulo binario AB è in comunicazione colla pila RZ, la corrente lo attraversa dall'alto al basso, ma dal momento che è diventato un vero elettromotore PN, la corrente, che pel filo congiuntivo va dall'alto al basso, transita pel cumulo dal basso all'alto. Dunque la *corrente nella pila secon-*

(1) *Beiträge zur näheren Kenntniss des Galvanismus*, von Ritter Jena 1800

daria è diretta in contrario verso di quella che transitava per esso e da cui è stato generata.

L'opinione di Ritter che l'elettrico diventi latente fra le piastre e il conduttore umido non è più ammissibile. Volta faceva dipendere l'apparato ritteriano da una *pila di secondo genere* nata per la decomposizione del sale sciolto nel liquido, dagli elementi del quale, tosto separati, si formano delle coppie elettromotrici di seconda classe (1). Il fenomeno in seguito fu esaminato da Marianini (2), il quale lo fa dipendere dalla polarizzazione che acquistava il metallo, o come egli dice *dall'alterazione che subisce la facoltà elettromotrice dei metalli per lo trascorrimento in esso dell'elettrico*.

1377 Sapendosi che gli elementi elettro-negativi dell'elettrolito si portano al polo positivo e quelli elettro positivi al polo negativo (§. 1367), non riesce più dubbia la cagione delle pile secondarie, la quale veniva espressa con altro nome da Marianini. Nell'egual modo i fili di platino, che hanno servito a congiungere i poli di un elettromotore voltiano, acquistano la *polarità elettrica*, per la quale diventano capaci di promuovere per se stessi la corrente; facoltà creduta da qualche fisico una particolare proprietà e denominata per ciò *polare elettro-dinamico*.

I due fili di platino *ab*, *ef* pescano nell'acqua acidulata o salata contenuta nel vaso V (fig. 246) e non danno verun indizio di corrente elettrica congiunti col filo del galvanometro *g*. Ma, dopo aver servito di filo congiuntivo della pila RZ riuniti pel liquido conduttore contenuto nel vaso T dove pescano senza toccarsi, acquistano la polarità elettrica, ossia formano una coppia elettromotrice come i due metalli rame e zinco. Nel passaggio della corrente di RZ pei fili *ab*, *ef*, il liquido di T è decomposto, e sul filo *ab* si deposita l'ossigeno o il corpo elettro-negativo e sopra *ef* l'idrogeno o il corpo elettro-positivo. Laonde, riuniti al galvanometro *g* e compiuto il circuito col liquido del vaso V, nasce la corrente che pel galvanometro va dal filo *ab* nell'altro *ef*. Il filo *ab* dunque per cui la corrente passa nel liquido di T è elettro-negativo e l'altro *ef* che riceve la corrente dal liquido stesso è l'elettro-positivo. Il corpo pel quale sbocca nel liquido la corrente o su cui si riduce l'ossigeno, il cloro, gli acidi e simili dell'elettrolito, si chiama *anodo*; mentre quello, che riceve la

(1) *Annali di chimica, storia naturale* ecc. di L. Brugnatelli, t. XXII, p. 10.
(2) *Giornale di fisica, chimica* ecc. di L. Brugnatelli, decade 2ª, t. IX, p. 255 e 346.

corrente e su cui si riduce l'idrogeno, i corpi combustibili, gli alcali, i metalli, chiamasi *catodo*, ed ambidue si comprendono sotto il nome generico di *elettrodi*. Ora nel cumulo AB di piastre di rame alternate di carta o di panno bagnato (fig. 245), la superficie superiore di ciascuna piastra riceve la corrente dal liquido ed è il catodo, mentre la superficie inferiore è l'anodo. Si comprende quindi come lo stesso cumulo AB sia diventato, dopo il trascorrimento della corrente, un vero elettromotore PN, dove P corrispondente alle superficie superiori delle piastre, riesce il polo positivo, ed N corrispondente alle inferiori risulta il polo negativo.

Nei conduttori sotterranei dei telegrafi elettrici è avvenuto che, per la polarizzazione acquistata dai corpi umidi, si sono sviluppate delle correnti secondarie, le quali disturbavano l'uso di quegli apparati (1).

1378. La polarità delle piastre nella pila comune costituisce una pila secondaria, che diminuisce la corrente primaria, ed è per tal motivo che, avanti fossero inventati gli elettromotori a corrente costante, si cercò di comporre le *pile a secco*. I primi saggi di queste pile risalgono ai primi anni del presente secolo poco dopo l'invenzione della pila di Volta. Hachette e Desormes nell'anno 1803 impiegarono delle coppie di rame-zinco separate da colla di farina essiccata (2); più tardi Biot, come conduttore intermedio alle coppie, pensò di servirsi del nitrato di potassa (*salnitro*) fuso in lamine, il quale è uno dei migliori conduttori salini (3). Nell'anno 1809 Deluc presentò alla Società R. di Londra un apparato di 600 coppie fatte di zinco laminato e di carta d'oro (rame). Superiori alle precedenti furono le pile presentate nel 1812 dal prof. Zamboni (4), che unanimemente vennero riconosciute le più comode e le più semplici, principalmente dopo i miglioramenti che vi ha apportati.

Le migliori pile di questa specie costrutte da Zamboni si compongono della carta conosciuta comunemente sotto il nome di carta d'argento, ma che in realtà è carta coperta d'un levissimo strato di stagno o di lega di stagno e zinco, e di carbone o meglio di perossido di manganese in polvere minutissima, colla quale si spalma il rovescio della carta per metterlo a contatto colla faccia metallica d'altra carta

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. I, pag. 195. Per la polarizzazione dei conduttori della corrente si veggano gli stessi *Annali*, t. II, pag. [illegible] e il t. XXVII della 1ª serie, pag. 17.

(2) *Annales de chimie* ecc., 1ª serie, t. XLVII, pag. 13.

(3) *Traité de physique* ecc. t. II, pag. 525.

(4) *Della pila elettrica a secco*. Verona 1812.

si tagliano dai fogli così spalmati parecchi dischi eguali, che si sovrappongono nella maniera indicata, e si forma così una pila di parecchie coppie fatte di stagno zincato e di perossido di manganese intramezzati da carta. Parecchie centinaia di quelle coppie riunite e ben legate con fili di seta costituiscono delle colonne, che si coprono esternamente di vernice coibente e si dispongono in tubi di vetro di egual diametro dei dischi di carta per meglio maneggiarle senza sconcertarle (1). Ai due estremi della colonna così composta si uniscono con fili metallici due ghiere terminate in emisferi d'ottone ed assicurate con mastice al tubo di vetro. La parte, per dove sono rivolte le facce dei dischi coperte di stagno zincato, costituisce il polo positivo, e quella opposta, corrispondente agli strati di perossido di manganese, il polo negativo. La carta interposta alle coppie si mostra efficace in causa della sua proprietà igroscopica, per la quale, tutto che asciutta, conserva tenacemente quell'umidità insensibile propria della sua natura, e diventa così conduttrice dell'elettrico. La pila, composta di questa carta asciutta non sarebbe rigorosamente a secco, ma nel suo stato apparente la si riguarda come tale per distinguerla da quella costruita di carta bagnata. Alle volte la pila a secco si dispone sopra una base in comunicazione col suolo, e in tal caso l'estremità superiore si chiama *polo agente*, e *polo comunicante* l'altro non isolato. Zamboni trova utile di stemprare in una soluzione satura di solfato di zinco puro il perossido di manganese, riscaldando anche al fuoco il miscuglio e distendendolo con un pennello sul rovescio della carta. Dopo che questo composto è asciugato al sole od al fuoco, si soffrega su di esso la polvere di manganese. Secondo Zamboni l'aumento d'energia, prodotto dal solfato di zinco, dipende dalla pila binaria cospirante colla primaria e composta di quel sale a contatto collo stagno della carta.

1379. Le pile a secco fatte nel modo suindicato, una volta che la loro tensione sia diminuita sino a diventare permanente, possono essere tenute esposte all'aria atmosferica per anni ed anni senza perdere della loro energia. La comunicazione coll'aria esterna riesce molto nociva alle pile dove entra il solfato di zinco, e per ciò importa, molto più delle altre, di coprirle di vernice coibente e custodirle entro tubo di vetro coperto tanto internamente che esternamente d'un lieve strato di ceralacca. L'apparato resta difeso in tal modo dall'u

(1) Per tutte le manipolazioni e le avvertenze occorrenti a costruire le pile a secco si vegga il t. II dell'opera: *Elettromotore perpetuo di Zamboni*. Verona 1820.

midità atmosferica, la sua tensione però è soggetta a variazioni in causa del calore. Non vi ha pila a secco che, dopo due anni dalla sua nascita, non risenta secondo Zamboni l'influenza della varia temperatura delle stagioni. Simile al vegetar delle piante, la tensione elettrica di quell'apparecchio illanguidisce nel verno e cresce poi col calore nella state, e questa variazione riesce più grande nelle pile composte di maggior numero di coppie. Parecchie, nel cuore dell'inverno, danno appena qualche debole segno di tensione all'elettrometro più squisito; ma al ritornar dell'estate esse la rimettono rigogliosa. Zamboni in una sua relazione del 1844 racconta di possedere delle pile a secco, ben intonacate di mastice, che conservano da 28 anni la loro forza di tensione e mostrano di dover mantenerla ancora per molti anni (1).

Il fluido elettrico, che tende ad accumularsi al polo positivo della pila a secco, trova un ostacolo nell'imperfetta conducibilità della carta e si dissipa d'altra parte per l'aria (§. 1267). Giunta ad un certo punto, la tensione cessa di aumentare in virtù di quella dispersione, ed allora la quantità d'elettrico che arriva al polo positivo, dopo aver vinto tutte le resistenze, è dissipata dall'aria e si stabilisce una specie d'equilibrio mobile, e ne rimane costante la tensione. Avviene lo stesso se il polo negativo è isolato nell'aria e quello positivo in comunicazione col suolo. Si apprende da ciò come, trasportando la stessa pila in aria più umida, si diminuisca la tensione, e in aria più secca si aumenti; giacchè nel primo caso si accresce e nel secondo vien meno la dispersione, mentre rimane costante la forza riproduttiva dell'elettrico. Imaginiamo ora un pendolino isolato interposto al polo superiore della pila ed alla sommità d'un conduttore in comunicazione col suolo: il pendolo verrà attratto dal polo della pila, elettrizzato e poscia repulso, e nella sua oscillazione toccando il conduttore si scarica ed è di nuovo attratto. Quando l'elettrico tolto alla pila si riproduce di nuovo, le oscillazioni del pendolino continueranno indefinitamente. Due sono le cause per le quali è sottratto il fluido alla pila, cioè il contatto del pendolo e quello dell'aria, mentre unica è la fonte per cui si riproduce. Se quindi per uno stato determinato dell'atmosfera, il pendolo è combinato in modo, nella sua forma, nelle sue dimensioni e nella rapidità delle oscillazioni, che la somma dell'elettrico, levato da ambedue quelle cause, eguagli esattamente la quantità sviluppata nello stesso tempo dalla pila, succe-

(1) *Annali di fisica ecc. più volte citati, t. XIII, pag. 14*

dera un esatto compenso e le oscillazioni riusciranno regolari ed isocrone. Se l'aria divenia più secca, le oscillazioni diventeranno più rapide, se più umida, esse saranno più lente, ed ancor più umida potranno cessare e il pendolo essere arrestato nel suo movimento, e riprendere le sue oscillazioni se l'aria ritorna secca. Con questi periodi e questa intermittenza la pila a secco è stata giudicata da Deluc come strumento igroscopico. Ma si riconobbe poscia che la forza riproduttrice dell'elettrico è variabile, e quindi, indipendentemente dall'azione esterna, il pendolo può accelerare, rallentare, sospendere ed anche riprendere le sue oscillazioni.

1380. Zamboni dispose due pile a secco composte di 1000 a 1500 coppie, l'una accanto all'altra a guisa di due colonne PQ, NM piantate sopra un basamento (fig. 346). Esse sono rivolte colle loro estremità in opposto verso, essendo il polo superiore P della PQ positivo, mentre quello N della NM è negativo. Il pendolo *hg* collocato sopra un sostegno isolatore è disposto fra esse, ed è chiaro, da quanto si disse, che concepirà un moto d'oscillazione per le attrazioni e successive ripulsioni del globetto *h* verso i poli dei due apparati. Se le due pile sono poste a piccola distanza dal pendolo, in modo da imprimergli colle attrazioni e ripulsioni nuova forza per compensare le perdite fatte in virtù dell'attrito e della resistenza dell'aria, le oscillazioni continueranno indefinitamente e si avrà un *movimento perpetuo*, cioè che durerà sinchè dura la materia, di cui si compongono le pile. Zamboni ha applicato questo principio a conservare il moto d'oscillazione nei pendoli destinati alla misura del tempo, ed a tal fine per regolare le variazioni, che accadono nelle pile in virtù dei cambiamenti atmosferici, aveva pensato di tener pronte altre pile per aggiungerle o levarle dalle due stabili e così con esse compensare la diminuzione o l'accrescimento di forza delle medesime.

Riesce più utile alla scienza l'applicazione che Zamboni ha fatto della sua pila alla costruzione d'un elettroscopio ad ago sempre pronto a farci conoscere la specie d'elettricità, di cui è dotato un corpo. Sopra la punta, piantata alla sommità d'una pila, sta in bilico per mezzo d'un cappelletto simile un ago, il cui braccio *mn* d'ottone o d'argento (fig. 347) termina in un globetto *n* e l'altro braccio è in parte di vetro. Il globetto *n* sarà sempre elettrizzato omologamente al polo superiore della pila, ed accostandovi il corpo si riconoscerà la specie d'elettricità, come coll'ordinario elettroscopio ad ago (§. 1248). Zamboni ha applicato altresì la sua pila alla bilancia di Coulomb (§. 1252), per avere nella leva mobile una forza costante (Opera citata, pag. 294).

1381. Un elettroscopio più compiuto fatto con pile a secco è stato proposto da Berhenz, descritto da Bonhenberger (1) e migliorato da Zamboni (2). Consiste esso in un elettroscopio comune (fig. 348) la cui foglietta d'oro, della lunghezza di 6 in 8 centimetri, pende fra due pile a secco ciascuna di trecento coppie. La foglietta è sospesa a tale altezza che, descrivendo un arco di cerchio, non tocchi la sommità delle pile e sia al più alla distanza di un millimetro. Le pile sono poste sopra una lamina d'ottone e si possono più o meno fra loro avvicinare facendole scorrere in una scanalatura mediante viti di chiamata. I poli agenti delle due pile sono l'uno positivo e l'altro negativo, talchè, accostando al bottone dello strumento un corpo elettrizzato, questo comunicherà eguale elettricità alla foglietta d'oro, la quale, secondo che è attratta dal polo positivo o negativo, indicherà lo stato elettrico in difetto od in eccesso del corpo che si esplora. I segni + e —, notati alle basi delle pile, indicheranno tosto la specie d'elettricità. Questo elettroscopio è molto comodo per riconoscere facilmente di quale elettricità è carico un corpo, ed affinchè possa adempiere senza inconvenienti a tale scopo è necessario che la foglietta d'oro non tocchi la sommità delle pile, onde non oscilli come nella disposizione dell'elettromotore perpetuo (§ 1380).

1382. Un'altra applicazione della pila a secco è il *diagometro*, immaginato da Rosseau per istabilire i rapporti di facoltà conduttrice di alcune materie (3). Esso è formato essenzialmente d'una pila a secco *pq* più o meno attiva secondo la natura delle materie che si cimentano, e d'un ago calamitato *ab* molto sottile (fig. 349). L'ago porta all'estremità il disco *a* di carta dorata, e in virtù del suo magnetismo si mette sempre, come vedremo, in una direzione fissa, dalla quale, pel poco suo peso, può essere deviato dalla più lieve forza. Un arco graduato ne segna le deviazioni e il perno di metallo *dc*, su cui sta in bilico, comunica col filo d'ottone *dfg*, col quale è congiunto il filo verticale *fe*, che porta alla sommità il dischetto e di sottile lamina metallica e può venire a contatto col dischetto *a* dell'ago. All'estremità *g* s'innalza il piede d'ottone *gt* che sostiene un piano orizzontale pure d'ottone, su cui sono collocati i corpi, dei quali si esplora la conducibilità. Tutto l'apparecchio riposa sulla stiacciata di resina ABC e l'ago si ricopre colla campana di cristallo EF. La pila a

(1) *Bibliothèque universelle*, fascicolo di novembre del 1820, pag. 103.
(2) *Elettromotore perpetuo* dello stesso, t. II, pag. 280.
(3) *Élémens de physique*, par Pouillet. Parigi 1832, t. I, parte 2ª, pag. 253.

secco *pq* e munita superiormente del filo metallico *prs* coperto di gommalacca e terminato in un globettino di platino. Mettendo in comunicazione questo globetto col piano orizzontale *t*, l'elettrico è trasmesso pel filo *gfd* e trasfuso nel dischetto *c* e nell'altro *a* dell'ago, per cui fra loro si repellono e l'ago è rimosso dalla sua posizione di un certo numero di gradi secondo la tensione della pila.

Le materie, di cui si suole valutare la conducibilità relativa, si collocano sul piano di metallo *t* e si mettono a contatto col globettino di platino. I corpi solidi devono avere eguali dimensioni e forma ed i liquidi si versano nel piccolo vaso di metallo *h*. Quanto più la materia è conduttrice dell'elettrico, tanto più riuscirà grande la tensione elettrica comunicata ai due dischetti e per conseguenza maggiore la deviazione dell'ago. Si è in tal maniera che l'autore ha determinato la facoltà conduttrice di diverse specie di carboni ed olii. Si trova che i carboni, che sono i più cattivi conduttori dell'elettrico, riescono i migliori per la fabbricazione della polvere. Fra tutti gli olii e le sostanze grasse sottoposte alla prova col diagometro, l'olio d'ulive presenta la minor conducibilità. Versando due gocce d'olio di faggio o di garofani in 10 grammi d'olio d'ulive, la conducibilità di questo aumenta sensibilmente. Il diagometro può quindi scoprire la minima traccia di falsificazione negli olii del commercio, e servire in una maniera comoda ed ingegnosa ai mezzi chimici.

1385. Le pile a secco sono apparati sempre pronti a somministrare l'elettricità, e Zamboni le ha applicate a dimostrare le principali leggi dell'elettricità statica. Con questi apparati si dimostra facilmente che si danno due stati elettrici opposti, i quali si distruggono a vicenda (§ 1225). Di una pila composta di ben mille coppie Zamboni assicura d'avere ottenuto la scintilla, la quale gli è riuscita molto più sensibile nelle pile composte di 2000 coppie di carta d'argento o manganese misto al solfato di zinco. Le scintille delle pile a secco appariscono nei primi mesi della loro costruzione, scompaiono durante l'inverno e non in tutte ritornano a comparire nella calda stagione estiva. Le scintille in ogni caso si ottengono da queste pile coll'aiuto del condensatore; il quale per maggior comodo è stato disposto da Zamboni alla foggia dell'elettroforo. Nel centro del collettore si obbliga perpendicolarmente la pila, e si colloca e si allontana dal disco attuante mediante tre cordoncini di seta come lo scudo dell'elettroforo (1298).

Zamboni, con un tubo a cannocchiale applicato all'elettroscopio a foglietta ed elettrizzato colla sua pila, dimostra facilmente che *la*

capacità dei corpi per l'elettrico è in ragione della loro superficie (§. 1258). Egli dimostra eziandio i canoni principali dell'attuazione elettrica (§. 1272): avvicinando infatti il polo agente della pila al bottone dell'elettroscopio a pagliuzze terminato pure in largo disco, vi sarà attuazione, e le pagliuzze divergeranno per elettricità omologa. Zamboni varia gli sperimenti in diverse maniere per dimostrare in ogni caso le leggi annunziate dell'attuazione elettrica.

1384. Col calorico non solo si ottiene l'elettricità di tensione (§.1324), ma eziandio le correnti elettriche. Si uniscano ai capi del galvanometro due fili tagliati ben anche dallo stesso metallo, si arroventi all'estremità uno di questi fili mediante la fiamma della lampada ad alcoole, indi si tocchi coll'altro filo: l'ago dello strumento ci farà tosto accorti della presenza d'una corrente, la quale in generale dal filo non riscaldato passa pel galvanometro e scorre sull'altro filo per gettarsi di nuovo sulla parte fredda del primo a ripigliare il suo cammino. I fili alla loro estremità libera si piegano ad uncino onde premerli facilmente l'uno contro l'altro stirandoli, dopo averli congiunti per gli uncini stessi. Quando lo sperimento si eseguisca con sollecitudine, si ottengono parecchi gradi di deviazione al galvanometro. I movimenti ottenuti in tal modo nel fluido naturale costituiscono le *correnti termelettriche*, così chiamate per distinguerle dalle *voltaiche*, dalle *indotte* e da altre di cui parleremo.

La corrente prende la direzione dal filo freddo pel galvanometro al filo caldo esperimentando col *bismuto*, col *platino*, coll'*oro*, coll'*argento*, col *piombo*, collo *stagno* e col *rame*. L'intensità della corrente varia nei diversi metalli: nel piombo e nello stagno è molto più debole che negli altri. Il fenomeno avviene in ordine inverso sperimentando coll'*antimonio*, col *ferro* e collo *zinco*, nei quali la corrente elettrica del metallo caldo pel galvanometro va a quello freddo, ossia dal filo freddo si getta direttamente su quello arroventato per invadere poscia il galvanometro e dar segni della sua presenza. Siccome nei primi l'estremità lasciata alla temperatura naturale si elettrizza positivamente in confronto dell'altra che si mette allo stato negativo, e ciò al pari dell'elettricità di tensione nella tormalina (§. 1324), e nei secondi avviene all'inverso, così si chiamarono *termelettrici positivi* i metalli della serie cui appartiene il bismuto, e *termelettrici negativi* quelli de l'altra cui spetta l'antimonio. Si noti che qualche fisico prende queste denominazioni in senso inverso al dichiarato. Questi fatti importanti sono facili ad essere verificati e furono in particolar modo studiati da Nobili e da Becquerel sotto certe viste ge-

nerali per lo sviluppo dell'elettricità (1). Sturgeon esaminò le correnti termelettriche in verghe d'acciaio ed in verghe di rame incurvate a ferro di cavallo e riscaldate verso le loro estremità ed in altre parti (2).

1385. Le correnti termelettriche percorrono facilmente un circuito tutto metallico e si mostrano sensibili al galvanometro, ma riescono insensibili agli strumenti i più squisiti quando devono transitare per un conduttore liquido di certa lunghezza. È per questo che si credeva di non poter ottenere delle correnti termelettriche nei conduttori di seconda classe. Nobili giunse però a promuovere nell'argilla inumidita con acqua delle correnti, che egli chiama *termidro-elettriche* (3). L'esperimento riesce con qualunque specie d'argilla, ma non si è avuto verun segno distinto colla calce, colla barite, col gesso e con altre materie terrose, e ciò per la ragione che l'argilla, imbevendosi facilmente dell'acqua, possiede una facoltà conduttrice che non hanno le altre terre. Questo fatto delle correnti elettriche, prodotte nelle terre inegualmente riscaldate, è di qualche importanza, in quanto che può servire a rischiarare uno dei più grandi problemi della geografia fisica, voglio dire delle correnti termelettriche nel nostro globo, per le quali acquista la proprietà d'agire sull'ago calamitato, come agiscono su quello del galvanometro.

1386. L'intensità delle correnti termelettriche, eccitate nei conduttori di prima classe, si accresce accoppiandone alternativamente due differenti e formando un circuito tutto metallico. Le prime correnti termelettriche in circuiti formati interamente di conduttori metallici furono scoperte da Seebek nel 1821, dimostrando così che, senza far parte del circuito qualche conduttore umido, si mette il fluido elettrico in movimento continuo. Questa importante scoperta non poteva essere fatta avanti di conoscere il galvanometro od un elettroscopio dinamico, il quale, a differenza della rana galvanica, potesse far parte del circuito senza conduttori umidi. L'apparato di di Seebek consisteva in una specie di rettangolo formato d'una lamina di rame, ripiegata a squadra ai due lati, e in un cilindro d'an-

(1) *Sulla natura delle correnti*, di Nobili, Reggio 1827; vedi anche la Collezione delle sue *Memorie ed osservazioni*, t. I, pag. 87. *Dell'influenza del calorico nello stato elettrico dei corpi*, di Becquerel negli *Annales de chimie et de physique*, fascicolo marzo ed aprile del 1831.

(2) *Ricerche sperimentali sul termo-magnetismo dei corpi omogenei*, di Sturgeon, negli *Annali delle scienze*, di Fusinieri, t. II, pag. 172, 1832.

(3) *Modo di ottenere le correnti termidro-elettriche*, nelle *Memorie ed osservazioni*, di Nobili, t. I, pag. 81.

timonio saldato all'estremità della lamina. Presentando un lato di questo rettangolo parallelamente all'ago calamitato in equilibrio sopra una punta, come è quello del galvanometro, non si ha alcuna deviazione e quindi nessun indizio di corrente elettrica; ma se si riscaldi o si raffreddi una delle congiunzioni, si hanno tosto i movimenti nell'ago, che indicano la presenza della corrente.

L'esperienza di Seebek s'istituisce nella scuola disponendo il rettangolo sul piede isolatore P (fig. 350), dove AB è una verga d'antimonio larga qualche centimetro saldata alla verga di rame simile ripiegata a squadra. La lampada L ad alcoole riscalda una delle congiunzioni, e per questo aumento di temperatura si genera la corrente elettrica nel circuito del rettangolo metallico. Per riconoscerne l'esistenza, si dispone dapprima l'apparecchio col lato AB parallelo alla direzione dell'ago calamitato, che si colloca fra i due lati maggiori del rettangolo. Sinchè non è variata la temperatura delle congiunzioni, l'ago si conserva parallelo ai lati del rettangolo, ma, tosto che incomincia la corrente, devia da quella direzione e dà indizio della presenza della medesima. Se la congiunzione, invece di essere riscaldata, si raffreddi con ghiaccio, si ha pure la corrente elettrica, la quale va in verso contrario alla precedente. Nel circuito formato di due metalli, l'uno termelettrico positivo, il rame, e l'altro termelettrico negativo, l'antimonio (§ 1384); la corrente riesce più sensibile che operando con pezzi dello stesso metallo, come si è fatto precedentemente, o di due metalli differenti, ma ambidue termelettrici positivi o negativi. Ed appunto il rame essendo termelettrico positivo e l'antimonio termelettrico negativo si ha la corrente più distinta, perchè il calore determina nei due metalli due correnti cospiranti che si sommano, mentre nell'altro caso le correnti si contrastano e se ne compone una dalla loro differenza.

1387. Per ottenere le correnti termelettriche di maggior forza è mestieri, non solo formare il circuito con un metallo termelettrico positivo e coll'altro termelettrico negativo, ma prendere fra essi i meglio atti a mettersi allo stato elettrico opposto. Onde conoscere il miglior metallo positivo pel calore, si procede con metodo analogo a quello di Volta per istabilire la scala degli elettromotori per contatto (§ 1347). In tal modo, se il bismuto si è trovato più termelettrico positivo dell'ottone e questo del rame, il bismuto lo sarà ancor più in confronto del rame. Lo stesso si dica per istabilire quali siano i migliori metalli termelettrici negativi. Alcuni fisici si sono occupati di queste indagini, ed hanno stabilito la *scala termelettrica*. Nei loro

risultati vi ha qualche differenza, tutti però s'accordano nel mettere agli estremi della serie il *bismuto* e l'*antimonio*, come pure di collocare il *platino* subito dopo il primo metallo come corpo termelettrico positivo e il ferro subito dopo il secondo come termelettrico negativo.

Da che dipende una tale discrepanza? Oltre l'eterogeneità dello stesso metallo sottoposto all'esperienza dai diversi autori, ne deve essere certamente causa il differente grado di calore delle congiunzioni della coppia, il quale fa variare la termelettricità relativa dei corpi. Infatti Hankel ha verificato con parecchie sperienze che la scala termelettrica dei conduttori alle basse temperature differisce da quella che si ha per le elevate. I risultati delle sue sperienze sono esposti nel seguente quadro (1):

Alle deboli differenze di temperatura	*Alle grandi differenze di temperatura*
1. Bismuto	1. Bismuto
2. Argentone	2. Argentone
3. Nicolo	4. Platino in lamina
4. Platino in lamina	3. Nicolo
5. Oro	6. Ottone
6. Ottone	5. Oro
7. Rame in lamina	8. Stagno
8. Stagno	9. Piombo
9. Piombo	7. Rame in lamina
10. Rame in filo	11. Platino in verga
11. Platino in verga	14. Ferro
12. Argento	10. Rame in filo
13. Zinco	12. Argento
14. Ferro	13. Zinco
15. Antimonio	15. Antimonio.

Dai numeri ordinali segnati per le deboli differenze di temperatura ed applicati agli stessi corpi per le grandi differenze, si scorge che alcuni conduttori cambiano di posto nella scala termelettrica secondo la differenza di temperatura. Si scorge altresì che il corpo cambia di posto secondo che è cimentato sotto la forma di lamina o di filo. Becquerel e Nobili avevano già trovato che, in un circuito termelettrico di rame-ferro, la corrente va direttamente dall'estremità riscal-

(1) *Annalen der Physik* ecc. di Poggendorff, t. LXXI pag. 197 e 479.

data del primo metallo in quella pure riscaldata del secondo, finchè la temperatura della commettitura non oltrepassa un certo grado; ma ad un maggior calore la corrente s'inverte dirigendosi dall'estremità riscaldata del ferro in quella pure riscaldata del rame. Quest'invertimento fu da loro rinvenuto anche nei circuiti termelettrici formati di zinco-oro, di zinco-argento. È stata agitata la quistione se il *mercurio* accoppiato con altri metalli sia un corpo termelettrico. A tale intento alcuni fisici stranieri ed italiani hanno fatto parecchie sperienze, per le quali la quistione fu sciolta affermativamente (1), e il *mercurio* prende posto subito dopo il bismuto. Il *carbone* e la *piombaggine* sono stati collocati fra lo zinco ed il ferro per le medesime temperature.

1388. La *scala termelettrica* dei corpi differisce da quella degli *elettromotori per contatto* (§ 1347) e dall'altra degli *elettromotori per istropicciamento* (§ 1227), laonde un corpo, elettro positivo rispetto ad un altro in una scala, non si deve dedurre che lo sia eziandio in una delle altre due. Esaminando la scala termelettrica si trova in generale che i corpi elettro-negativi sono dotati di minor calorico specifico in confronto di quelli elettro-positivi (§ 1034). Sembra eziandio, da alcune sperienze di Wrede (2), che i metalli più atti ad irradiare il calorico siano più termelettrici negativi: è appunto per ciò che il ferro in confronto del rame è elettro negativo a bassa temperatura essendo dotato di maggior potere irradiante del rame, ed al contrario diventa elettro-positivo rispetto allo stesso rame a temperatura più elevata possedendo allora minor potere irradiante del secondo metallo.

Le correnti che si ottengono al galvanometro da un filo metallico nell'attortigliarlo o passarlo alla trafila, come pure dai metalli schiacciati, sembrano dipendere dal cambiamento di temperatura prodotto da quelle azioni meccaniche in alcune parti del circuito piuttosto che dall'azione diretta delle modificazioni subite dalle molecole (3). Appartengono alla stessa categoria di fenomeni termelettrici le correnti, che si sviluppano sfregando un metallo contro altro metallo. Si attacchi a ciascun capo del filo del galvanometro un disco di due dif-

(1) *Annali di fisica*, ecc., già sopra citati, t. xx, pag. 53 e 54.

(2) I medesimi *Annali*, t. xvi, pag. 56. Si vegga anche riguardo alle relazioni fra la termelettricità e l'irradiazione calorifica il t. xxii, pag. 156 dei medesimi *Annali*.

(3) I suddetti *Annali di fisica*, ecc., t. xxvi, pag. 49.

ferenti metalli e si applicano l'uno contro l'altro; l'ago dello strumento non darà alcun indizio di corrente elettrica Ma stroflnando leggermente l'uno sull'altro disco, si ha tosto indizio di corrente. Becquerel, avendo in tal maniera sottoposto al cimento i diversi metalli, ha trovato che essi producevano una corrente, la quale per ciascuna coppia metallica conservava lo stesso ordine delle coppie termelettriche (1). Gherardi, nel riprendere queste sperienze, ha osservato che nella coppia carbone-ferro la corrente, sviluppatasi col processo suaccennato, va in verso contrario di quella termelettrica prodotta dagli stessi corpi Da cui deduce che, nei metalli sottoposti all'esperienza da Becquerel, la corrente termelettrica è cospirante con quella nata per lo stropicciamento; mentre nella coppia carbone-ferro esse sono dirette in opposta direzione, e quindi si ha realmente una corrente elettrica, la quale dipende dal solo stropicciamento dei corpi conduttori (2).

Si attacchi ad un capo del galvanometro un cucchiaio di platino ed all'altro capo un pezzo di spugna dello stesso metallo riempiendo il cucchiaio d'acido nitrico puro ed immergendovi la spugna, l'ago dà indizio di corrente elettrica in virtù dell'*azione capillare* del platino spugnoso sull'acido nitrico (§. 112). Siccome nell'azione capillare avviene sviluppo di calorico (§. 1186), così le correnti eccitate in tal guisa si mettono nella categoria delle termelettriche. Si osservi che per ottenere il fenomeno è mestieri di ben lavare e pulire previamente i due corpi nell'acido nitrico, affine di levar loro tutte le materie aderenti alla superficie Alle volte non basta la semplice lavatura e conviene lasciarli nell'acido nitrico stesso parecchie ore per distruggere qualunque eterogeneità capace di alterare il fenomeno. All'istante che s'immerge la spugna nell'acido nitrico, si genera la corrente, che dal cucchiaio pel filo galvanometrico va alla spugna medesima, come se questa fosse un pezzo di zinco e il cucchiaio uno di rame I due elettrodi ben presto si polarizzano e producono una corrente in contrario verso (§. 1377), che continua per qualche tempo, vien meno e si annulla. Allorquando si opera con acido nitrico misto in peso a metà d'acqua, ha luogo soltanto il primo effetto, che dura alcuni istanti La spugna di platino nell'assorbire il liquido si riscalda (§. 1186) e la corrente in principio sembra ter-

(1) *Traité de l'électricité et du magnétisme* ecc., t. II, pag. 114

(2) *Sopra le correnti elettriche per attrito dei metalli*, nei Nuovi annali delle scienze naturali di Bologna, fascicolo VIII.

molettrica (§. 1384). Ma come mai avviene che, sperimentando coll'acido idroclorico concentrato, gli effetti sono inversi di quelli ottenuti con l'acido nitrico? Nella produzione del fenomeno sembra che vi concorra altra causa, per cui merita d'essere di nuovo studiato.

1389. Le correnti termelettriche crescono in intensità formando un circuito di parecchie coppie e si hanno così le *pile termelettriche*. Questi elettromotori si compongono di coppie di due differenti metalli della scala, congiunte o saldate assieme in modo da formare un circuito compiuto. Riscaldando o raffreddando alternativamente le commettiture si hanno altrettante correnti termelettriche quante sono le coppie dirette per lo stesso verso e quindi una corrente composta più energica. Siccome ciascuna corrente elementare è tanto più energica quanto più i due corpi termelettrici sono distanti fra loro nella scala (§ 1387), così le migliori pile termelettriche sono quelle fatte con verghe d'antimonio e bismuto.

Oersted e Fourier composero coi metalli nominati un circuito termelettrico di forma poligona, un cui lato era disposto orizzontalmente e parallelo sopra l'ago calamitato, che faceva le veci del galvanometro (1) Le congiunzioni erano alternativamente riscaldate con lampada ad alcoole: riscaldando due congiunzioni si aveva una corrente più energica di quando se ne riscaldava una sola, e così la corrente andava aumentando in forza a misura che si riscaldava maggior numero di congiunzioni. Lo stesso accadeva se esse venivano alternativamente raffreddate con ghiaccio. Che se le commettiture erano alternativamente riscaldate e raffreddate, la deviazione dell'ago e quindi la corrente elettrica era ancor più grande. Interruppero anche il circuito in un punto, i cui due estremi diventavano i *poli della pila termelettrica* Un filo di rame della lunghezza di un decimetro e del diametro di un millimetro, che congiungeva i poli, era sufficiente a condurre la corrente nella pila di 3 coppie; e la trasmetteva ancor bene quando gli si dava la lunghezza d'un metro. Un filo di platino invece, di $^1/_2$ millimetro di grossezza e lungo 4 decimetri, stabiliva così imperfettamente la comunicazione che l'ago dava appena indizio della corrente. Se del filo congiuntivo faceva parte qualche conduttore umido, l'ago non dava verun segno sensibile. Le verghe d'antimonio e bismuto avevano la lunghezza di 12 centimetri, la larghezza di 15 millimetri e la grossezza di 4. Essi accrebbero il numero delle

(1) *Annales de chimie et de physique*, seconde serie, t. XXII, pag. 375.

coppie sino a 22, e credettero dalle loro sperienze di potere stabilire in generale che l'aumento del numero delle coppie fosse molto limitato per accrescere l'energia della corrente.

1390. Le pile termelettriche della forma di poligono, o di parallelogrammi congiunti in serie, o di altra disposizione che estenda il circuito in grande spazio, non si prestano ai bisogni della scienza ed alle sue applicazioni. Importa che tutte le commettiture pari vengano a radunarsi in piccolo spazio come pure tutte le impari, affine di poterle riscaldare contemporaneamente con una stessa sorgente calorifera o raffreddarle con un mezzo frigorifero. È forse per tale difettosa disposizione che Oersted e Fourier annunziarono, secondo le loro sperienze, che nelle pile termelettriche l'effetto aumentava bensì col numero delle coppie, ma diminuiva quasi nella medesima proporzione colla maggior lunghezza del circuito. Altri fisici sembravano dello stesso parere, quando Nobili e Melloni, cui si devono i migliori apparecchi di questo genere, osservarono che *le prime pile, costrutte coll'idea di valutare il calorico condotto, erano formate soltanto di 6 elementi, ed essi ne portarono il numero successivamente sino a 62 nelle pile pel calorico irradiante, mantenendo sempre costante la loro lunghezza* (degli elementi), *e la sensibilità dei loro apparati si è senz'interruzione accresciuta d'una quantità notabile in ciascun nuovo aumento* (1).

Per comprendere la costruzione delle pile termelettriche secondo i due fisici italiani, sia 1,2 una verga di bismuto saldata, sotto angolo molto acuto, alla verga d'antimonio 2,3, e nello stesso modo si congiungano alternativamente verghe di bismuto ed antimonio (fig. 351) e si avrà una pila termelettrica facile ad essere disposta in fascio cilindrico o prismatico colle commettiture dell'egual ordine riunite dallo stesso lato in piccolo spazio. Gl'intervalli fra le verghe si riempiscono con mastice o con altra materia coibente o poco conduttrice, rimanendo a nudo soltanto le estremità delle saldature. Le sezioni longitudinali di ciascuna verga sono rappresentate in AB, CD, dove vedesi che le verghe si allargano in un lato verso il mezzo per dar loro abbastanza conducibilità nell'allungare il circuito col moltiplicare le coppie della pila.

1391. Il primo apparecchio termelettrico, costrutto da Nobili secondo gli esposti principii, fu la *pila a scatola* (fig. 352) composta

(1) Si vegga la nota alla loro Memoria sopra alcuni fenomeni ottenuti col termoscopio elettrico nella *Bibliothèque universelle* del 1831, t. XLIV, pag. 225.

di 25 coppie bismuto ed antimonio sepolte in mastice contenuto in una scatola di legno di bosso. I poli della pila comunicano mediante fili di rame colle orecchie p, q, nelle quali è praticata l'imboccatura per ricevere i ganci dei reofori che si uniscono ai capi del filo del galvanometro dove si ha indizio della corrente. L'apparato si chiude col coperchio C, che si leva soltanto quando si dispone per l'esperienza. Il corpo, di cui si vuole esplorare il calore, si pone a contatto colle saldature a nudo della pila per esperimentare in ogni caso sui fenomeni del calorico condotto.

1399. Nelle sperienze del calorico irradiante servono altre pile, le quali combinate col galvanometro costituiscono il *termoscopio elettrico* imaginato e successivamente migliorato da Nobili e Melloni (1), e di cui quest'ultimo si è servito nelle sue numerose osservazioni ed indagini sul calorico irradiante (§§ 1058 e 1069). L'istrumento si compone di due parti ben distinte, la *pila termoelettrica* e il *galvanometro*, quest'ultimo diversifica da quello destinato alla misura delle correnti voltaiche, richiedendo quelle termo-elettriche, per la loro debole tensione, un filo più grosso e corto di quello. La pila costituisce il corpo termoscopico come il mercurio nei termometri comuni, e il galvanometro è l'indicatore e il misuratore della corrente.

Il termoscopio elettrico o termo-moltiplicatore, che serve in generale per esplorare qualunque irradiazione calorifera, si compone di una pila di 50 in 60 coppie isolate con mastice e rinchiuse nella fascia circolare d'ottone mn, formando con questa un sol corpo (fig. 353). Le saldature dispari delle verghe di bismuto e d'antimonio sporgono dal mastice per la lunghezza di qualche centimetro e formano una faccia della pila; quelle pari sporgono egualmente dal lato opposto e costituiscono l'altra faccia. Le teste binarie delle saldature delle verghe sono lavorate diligentemente colla lima e tirate in una linea a foggia di scalpello della larghezza di qualche millimetro. La fascia è fornita del robusto gambo h con cui si unisce a vite all'asta piantata sulla colonnetta di legno C, che serve di sostegno a tutto l'apparato. Una delle estremità o un polo della pila è congiunto metallicamente coll'imboccatura p d'ottone isolata dalla fascia con un pezzetto d'avorio, un'imboccatura eguale è unita all'altro polo. Queste imboccature p, q si vedono colle verghe della pila nella sezione trasversale GH, e in esse s'introducono i piuoli dei reofori diretti a portare la corrente in circolazione pel galvanometro. Ad una faccia è applicato

(1) *Memorie ed osservazioni*, di Nobili pag. 137 e 166.

a vite lo specchio conico R di metallo munito del coperchio per tenere chiuso od aprire lo strumento all'irradiazione calorifica. All'opposta faccia si unisce nella stessa guisa il tubo T terminato in specchio sferico, il quale ha un foro nel mezzo coll'orlo sporgente *tt* per ricevere a sfregamento il coperchio c. L'asta *hm* è snodata in *k* e colla mastiettatura a palla *m* si può dare all'apparato la posizione orizzontale o più meno inclinata secondo richiede l'osservazione. Colle relative viti di pressione si assicura lo strumento nella posizione stabilita. Le commettiture delle verghe della pila corrispondono al fuoco dello specchio R e sono coperte di nerofumo, i raggi calorifici, radunati sulle medesime, promuovono la corrente elettrica, che è misurata dal galvanometro. Lo strumento è fornito d'altro specchio eguale a quello sferico T, che in alcune indagini si sostituisce al conico R per mettere la pila nelle medesime condizioni da ambedue le facce. Il foro dello specchio T ha 13 in 14 millimetri di diametro, apertura sufficiente per introdurvi i piccoli insetti ed altri corpicciuoli, che si sottopongono all'osservazione (§§. 1179 e 1205). Le masse più voluminose s'introducono dall'altra parte avanti di applicare lo specchio all'apparato, e si dispongono su sostegni o su reti metalliche alla metà del raggio di uno degli specchi sferici della pila (§. 762).

Il termoscopio elettrico supera in sensibilità il termoscopio ad aria (§. 1002). Collocando all'estremità d'una lunga tavola i due strumenti ed all'altra un recipiente contenente dell'acqua tiepida, il termoscopio elettrico dà segni dell'irradiazione calorifica, mentre quello ad aria rimane immobile. Secondo i confronti istituiti da Nobili il termoscopio elettrico è dotato d'una sensibilità 15 in 20 volte maggiore del termometro di Breguet (§. 1006), e ci fa accorti del calorico irradiato da una persona alla distanza di 10 e più metri. Il valore assoluto delle indicazioni di questo strumento, come ben osserva Melloni, dipende dalla perfezione della sua costruzione: se ne trovano infatti alcuni il cui primo grado della scala equivale ad $^1/_{500}$ di grado del termometro centesimale ed altri a ben $^1/_{5000}$. Tuttavolta importa di notare che l'istrumento termelettrico riesce d'estate meno sensibile che d'inverno, trovandosi maggiore in questa stagione la differenza di temperatura delle due facce della pila. Ma l'istromento, che più s'assomiglia al termoscopio elettrico, è l'etrioscopio (§. 1005), col quale pure è stato istituito il confronto, avendo Nobili trovato che un eccellente etrioscopio costrutto a Londra da Newman era sensibile ad $^1/_{20}$ di grado del termometro centesimale, mentre il suo

termoscopio elettrico mostrava la sensibilità di $^1/_{4800}$ di grado dello stesso termometro (1).

1393. Il termoscopio elettrico ha servito al prof. Melloni nelle sue molteplici indagini sul calorico irradiante, di cui ci siamo a lungo occupati. In qualche caso soltanto il fisico italiano ha fatto uso di specchio per riflettere sulla faccia della pila i raggi calorifici (§ 1111), essendo d'ordinario ricevuta l'irradiazione sulla pila senza preventiva concentrazione mediante il riflettore. L'elettromotore sotto questa forma è stato distinto da Nobili col nome di *pila a cannocchiale*. Ad ambidue i lati della fascia circolare, dove sono innestate le coppie elettromotrici di bismuto e d'antimonio, è applicato a vite un eguale tubo cilindrico d'ottone della lunghezza di circa 6 centimetri annerito internamente e munito ciascuno di coperchio a scatola (fig. 334). Melloni ha dato alla pila del termoscopio elettrico la forma di prisma quadrangolare, al quale si adatta dai due lati il tubo d'egual forma munito pure di coperchio (fig. 335).

I due fisici italiani, dall'epoca dell'invenzione del loro termoscopio elettrico, si dedicarono ciascuno per sua parte a migliorarne la pila. Importava, principalmente quando si tratta d'adoperarlo cogli specchi, di ridurre la faccia della pila ad occupare il minor spazio possibile, e di dare alle teste degli elementi l'esatta curvatura sulle due facce. Nel primo caso bisogna renderli molto sottili onde aumentarne il numero, dopo ch'essi dimostrarono che *l'energia della corrente termelettrica cresce sino ad un certo punto, quando diminuendo la grossezza degli elementi se ne aumenta il numero*, in modo che non succede compenso fra la forza aggiunta colle nuove coppie e la perdita cagionata dalla resistenza pel maggior cammino che deve percorrere la corrente elettrica come opinavano Oersted e Fourier. Interessando assaissimo a Melloni, per le sue indagini sul calorico irradiante, di avere a disposizione un termoscopio molto sensibile, anche senza la concentrazione dei raggi mediante il riflettore, si occupò con molta diligenza a migliorare la costruzione della pila termelettrica, come parte principale del medesimo. Abbandonò il mastice e per ridurre le verghette metalliche al massimo ravvicinamento, interpose tra l'una e l'altra delle listerelle di carta, che trovò sufficienti all'isolamento. Trattandosi di scoprire o di valutare delle irradiazioni calorifiche molto deboli, bisogna aumentare per quanto è possibile la prontezza e l'intensità del riscaldamento della faccia

(1) *Memorie ed osservazioni* succitate, t. I, pag. 234

attiva dell'elettromotore, il che si ottiene rendendo minime le masse. D'altronde questa piccolezza delle teste metalliche della pila è tanto più necessaria in quanto che si ha sovente occasione di esplorare dei fasci calorifici assai delicati. Melloni compone perciò le pile del suo termoscopio con venticinque in trenta coppie di verghe di bismuto e d'antimonio, ciascuna delle quali ha 1 millimetro di grossezza, 2 di larghezza e 20 di lunghezza. Sono queste le più piccole dimensioni delle verghe di bismuto e d'antimonio, che furono adottate dagli artefici incaricati della costruzione dei suoi apparecchi. Egli si è assicurato, con esperienze dirette, che non vi ha nulla a temere della propagazione del calorico irradiante lungo quelle verghe e dell'indebolimento quindi della corrente elettrica per la minor differenza di riscaldamento sulle due facce della pila durante il tempo delle osservazioni (1). Nobili da sua parte assicura che un artefice italiano, molto esercitato in questo genere di lavori, costruisce le pile termelettriche con una maestria, che nulla lascia desiderare. *Non si tratta di piccole differenze*, egli conchiude, *si tratta di aver ridotto ai due quinti le dimensioni del già delicatissimo lavoro di Parigi* (2).

Nobili per le indagini sul calorico irradiante ha imaginato la *pila a raggi* rappresentata nella figura 356, dove le verghe d'antimonio sono tratteggiate e quelle di bismuto a semplice contorno. Le coppie si appoggiano per l'estremità ripiegata delle verghe d'antimonio sulla superficie interna d'un anello di legno, mentre colle commettiture dell'altra estremità terminano in punta verso il centro della zona circolare. La zona è chiusa da dischi di lastra d'ottone senza toccare le verghe delle coppie, e i poli della pila sono in comunicazione con due imboccature, dove mettono capo i reofori. Il centro dei dischi è aperto e si chiude al bisogno col relativo coperchio. L'irradiazione calorifica si fa cadere pel centro della zona sulle punte delle coppie elettromotrici. Somigliante a questa è la *pila a fessura*, nella quale le punte delle commettiture delle coppie vanno a terminare in una linea della larghezza di alcuni millimetri.

La *pila a pettine* è rappresentata nella figura 357 sulla quale si fa cadere l'irradiazione tanto perpendicolarmente al piano delle punte delle coppie quanto radente le medesime per le sperienze sul calorico irradiante. Melloni però nelle sue diverse indagini ha creduto

(1) Si vegga le *termocrosi* ecc., di Melloni altrove citata, pag. 42.
(2) *Memorie ed osservazioni*, di Nobili, t. II, pag. 46

meglio di servirsi della pila a cannocchiale superiormente descritta.

1394 Nobili ha imaginato la *pila a forza costante* la quale può riuscire utile nella *graduazione* e pel confronto dei galvanometri, come pure a stabilire il grado di conducibilità dei corpi per le correnti elettriche. Essa si compone di 25 coppie d'antimonio e bismuto fissate con mastice nella fascia d'ottone (fig. 358). Le verghette di ciascuna coppia hanno la lunghezza di 50 millimetri, la grossezza di 2 e la larghezza nel mezzo di 5 ed all'estremità di 4. Le due facce delle saldature sporgono all'infuori dal mastice per ricevere l'azione immediata del riscaldamento e del raffreddamento. Il vaso V è riempiuto d'acqua distillata, che si riscalda all'ebollizione colla fiamma dello spirito di vino contenuto nel recipiente L. Si leva il coperchio inferiore della pila, il quale è unito a vite, e si colloca la fascia sulle tre appendici, che si elevano sull'orlo del vaso V in modo che le saldature inferiori restano immerse per alcuni millimetri nell'acqua bollente. Si riempie superiormente la pila con neve o ghiaccio pesto, e in tal maniera si hanno le due facce della pila sottoposte rispettivamente alle temperature costanti dell'acqua bollente e del ghiaccio deliquescente. La differenza di temperatura delle due facce della pila essendo sempre di 100° centesimali, la corrente elettrica si riproduce ogni volta nelle medesime circostanze, per cui deve avere un'energia costante. Si applicano i reofori alle solite imboccature fatte nella fascia, le quali comunicano coi poli della pila. Sperimentando un galvanometro colla corrente prodotta da questa pila, l'ago è deviato ed oscilla per archi molto estesi. Si ammorzano queste oscillazioni con un cilindretto d'acciaio calamitato presentato a distanza superiormente all'ago per osservare *con prestezza* il grado fisso di deviazione, il quale si nota e l'osservazione è fatta colla corrente costante. La corrente non si disperde nel liquido dove pescano le estremità delle coppie, ma si mantiene nel circuito metallico per la sua debolissima tensione (§ 1389).

I fili dei reofori avevano nella pila di Nobili la lunghezza di 600 millimetri ed il diametro di $^2/_3$ eguale a quello del suo galvanometro, il quale presentava la deviazione di 36°. L'autore osserva che la corrente si mantiene costante per uno o due minuti, nel qual tempo il calorico di contatto dell'acqua bollente si propaga rapidamente per gli elementi termelettrici e, passato il confine della loro metà, penetra nella regione del freddo, diminuisce la differenza delle temperature delle due facce della pila e con essa l'intensità della corrente elettrica. Questa diminuzione è progressiva e può condurre all'errore

di circa un grado galvanometrico se si tarda tre o quattro minuti a fare l'osservazione

1395. Molto tempo dopo Nobili e Melloni, alcuni costruirono dei termoscopii elettrici, che non furono generalmente trovati proprii per le indagini del calorico irradiante. Faremo conoscere quelli di Pouillet (1), e di Svanberg (2), i quali possono riuscire utili per qualche particolare indagine. Ammettendo che col moltiplicare il numero dei giri attorno all'ago calamitato del galvanometro non si accresce la forza deviatrice, perchè questa d'altrettanto scema per l'aumento del circuito, Pouillet ha costrutto il suo termoscopio nel modo seguente: *bb'* è una lamina di bismuto della grossezza di circa 1 centimetro, della larghezza di 7 in 8 e della lunghezza di 20. Alle sue estremità essa si eleva in forma cilindrica col diametro di 1 in 2 centimetri e 2 in 3 d'altezza (fig. 339). Una lamina di rame *cdc'd'*, ripiegata come nella figura, è appoggiata e saldata per le sue estremità ai cilindri di bismuto, mentre i due metalli in tutta la loro lunghezza non si toccano in verun altro punto. Le estremità circolari della lamina di rame possono essere dorati per conservare pulita la superficie metallica. Le due lamine di bismuto e di rame formano così un circuito compiuto, le cui due saldature sono in *c*, *c'*. Un cambiamento di temperatura in uno di questi punti determina la corrente elettrica, la quale si manifesta al sistema di aghi calamitati piantati in un fuscellino di paglia, sospesi e disposti come nel galvanometro, di cui c'intratterremo più avanti. Uno degli aghi rimane nello spazio *mn* compreso fra le due lamine, dove quella di rame ha una fenditura per la quale passa il fuscellino di paglia. L'istrumento, secondo l'autore, ha tale sensibilità che basta di soffiare sopra una delle saldature per produrre nell'ago la deviazione di parecchi gradi e di fargli subire un'intera rivoluzione toccando la saldatura col dito. Questo termoscopio non si presta alle osservazioni del calorico irradiante in tutte quelle circostanze, che si sono vedute, quantunque Pouillet consigli d'annerire una delle saldature per adoperare l'istrumento a tale scopo.

Dopo una discussione intorno alla proporzione del numero dei giri del filo attorno all'ago del galvanometro ed il numero delle coppie termelettriche, Svanberg costruisce il circuito del termoscopio elettrico con una verga di rame quadrangolare formante quattro giri,

(1) *Élémens de physique* t. II, parte 2a, pag. 311.

(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XVIII, pag. 290.

ciascuno dei quali della lunghezza di 18 centimetri La verga ha la grossezza di millimetri 6,7 e la larghezza di 7,8, essendo i giri alla distanza l'uno dall'altro di $^1/_2$ millimetro, eccetto quello di mezzo che è un poco maggiore per introdurvi il sistema degli aghi calamitati Le due estremità della verga si prolungano ed hanno assicurato un morsetto La pila termelettrica è formata di tre coppie bismuto ed antimonio, della lunghezza ciascuna di centimetri 3,0, della larghezza di 2,8 e della grossezza di 0,4, posti fra loro alla distanza di 1 millimetro. Esse sono disposte parallelamente e formano una pila, come quella a scatola (§. 1391), munita di riflettore conico al pari del termoscopio di Melloni e Nobili. L'apparato termoscopico di Svanberg è tale da imprimere all'ago la deviazione di 75° in causa dell'irradiazione calorifica della mano posta vicina alla bocca dello specchio; e di 35° per l'irradiazione d'una persona collocata alla distanza di circa 3 metri. La temperatura della stanza durante queste sperienze era di 17°. Questi dati dimostrano che il termoscopio di Svanberg non raggiunge in sensibilità quello di Melloni e Nobili, e d'altronde non è dotato della proprietà di aver radunato in piccolissimo spazio le saldature delle coppie per servire alle osservazioni di piccoli fasci caloriflci.

1396. Le correnti termelettriche servono eziandio a seguire il corso del calore. L'acqua contenuta in un vaso si trova spesso al di sotto della temperatura dell'aria ambiente, in causa dell'evaporazione alla superficie (§. 1015), e la differenza di calore riesce tanto più grande quanto più l'aria è secca e ventilata Con una coppia termelettrica di fili di due differenti metalli, immersa per un'estremità in quell'acqua, si ha indizio al galvanometro, congiunto coi fili stessi, delle variazioni di temperatura La prima idea di quest'applicazione delle coppie termelettriche come atmidometro è dovuta a Nobili, il quale ne parla nella presentazione del suo galvanometro all'Academia di Modena del giorno 13 maggio 1825 (1). Tenendo quell'apparato in osservazione trovò che alla sera ed alla mattina l'ago deviava di circa 15°, e durante il corso della giornata veniva talvolta spinto a 21° Soffiando dei venti, l'evaporazione si accelera e l'ago ne dà tosto indizio. Al che Nobili soggiunge: *se poi con una sola coppia di due metalli differenti, il bismuto ed il rame, l'ago si spinge oltre i 15°, con parecchie coppie immerse convenevolmente nell'acqua dello stesso vaso si otterranno delle deviazioni molto maggiori, e così si riuscirà forse,*

(1) Si vegga anche. *Memorie ed osservazioni raccolte*, t. 1, pag 4

misurando sopra una scala più estesa, a tener dietro più esattamente al corso diurno dell'evaporazione.

Peltier ha ripreso l'idea di Nobili, e nella tornata del 15 maggio 1837 comunicava all'Academia di Francia di aver collocato un piccolo vaso di platino, pieno d'acqua sulla pila a scatola, da cui aveva indizio al galvanometro del grado d'evaporazione e quindi dello stato igrometrico dell'ambiente Egli ha costrutto altresì delle pinzette colle mascelle fatte di due coppie di bismuto ed antimonio in comunicazione col galvanometro. Il più lieve cambiamento di temperatura dei corpi, stretti con quell'apparato, è indicato dalla deviazione dell'ago Combinò infine due fili, l'uno di ferro e l'altro di rame della lunghezza di 42 metri, e saldati assieme ad un'estremità e coll'altra in comunicazione col galvanometro, ed immerse la commettitura nell'acqua d'un pozzo, mentre il galvanometro era posto nella stanza dell'osservatore. in tal maniera si riconosce la differenza di temperatura dei due luoghi, dalla corrente che si sviluppa nella coppia termelettrica. Si tenga immersa pure in un liquido la commettitura del filo di ferro con quello di rame del galvanometro, e s'innalzi o si abbassi la temperatura di questo liquido per ricondurre a zero l'ago galvanometrico, allora è segno che le due commettiture sono esposte all'egual calore, e il termometro immerso in questo liquido darà la temperatura del pozzo Parimenti si esplora la temperatura esterna dell'atmosfera elevando sul tetto della casa la commettitura di una coppia eguale, e si possono così in un momento mettere a confronto le temperature di due mezzi posti molto distanti fra loro, come quelle di correnti sottomarine, di miniere, di pozzi trivellati relativamente all'atmosfera In questa sorta d'indagini bisogna usare parecchie precauzioni per essere guarentito dalle correnti secondarie La principale causa perturbatrice è la corrente voltaica che può nascere dalla coppia termelettrica. Per evitare un tale inconveniente si rendono identici i fili esternamente stagnandoli in tutta la loro lunghezza, meno alle estremità, le quali sono saldate e chiuse ermeticamente in tubo di vetro Questi fili, coperti di seta ed incatramati, sono avvolti fra loro e così preparati s'immergono in qualunque acqua senza che sia perturbata la corrente.

1397 Formando una coppia termelettrica di platino e ferro, che sono i metalli più difficilmente fusibili, si può riconoscere il rapporto dei calori i più intensi Osserviamo altresì che, all'appoggio degli stessi principii, si esplora la temperatura dei diversi organi dell'uomo e di altri animali, introducendo nel viscere un sottile ago formato con platino ed acciaio.

Il bismuto e l'antimonio sono è vero i migliori metalli per comporre la coppia termelettrica: ma l'antimonio si fonde a 432° centesimali ed il bismuto soltanto a 256°, e questa grande differenza di fusibilità come pure la fragilità del bismuto richiedono una certa abilità e destrezza per saldare assieme i due metalli onde comporre il circuito termelettrico. È per queste ragioni che da qualche fisico (1) è stato consigliato l'argentone (*pachfond*) ed il ferro, due metalli che si prestano con vantaggio anche dal lato economico per le temperature medie. In quanto all'energia della corrente prodotta da coppie formate di questi metalli, si noti che l'argentone viene subito dopo il bismuto e precede il platino fra i corpi termelettrici positivi, e il ferro subito dopo l'antimonio e prima del rame fra i corpi termelettrici negativi. Perlocchè una coppia termelettrica argentone e ferro differisce di poco da quella bismuto-antimonio, e somministra una corrente più energica delle coppie rame ferro, ed anche di platino ferro.

1398. Le correnti eccitate direttamente dal calorico o mediante processi pei quali si svolge il calorico medesimo (§ 1388), hanno per causa quell'agente imponderabile. Ma le correnti idro-elettriche dipendono dalla forza elettromotrice di Volta (§ 1352) oppure dall'azione chimica (§ 1356). Nella *teorica del contatto* la forza, per cui nasce la corrente, si sviluppa dall'azione dei due differenti metalli, rame e zinco, posti fra loro a combaciamento, e il liquido pel quale si uniscono le coppie del pila non altro ufficio non avrebbe che di semplice conduttore. Nella *teorica chimica* invece la forza nascerebbe dall'affinità del liquido col metallo più intaccato, lo zinco, e l'altro metallo, il rame, non adempirebbe che al solo ufficio di conduttore. Quale è dunque, di queste due teoriche, quella che meglio soddisfa alla spiegazione di tutti i fenomeni voltaici? Divisi sono i fisici su tale argomento: la teorica chimica, già posta innanzi da Fabbroni sino al primo comparire della pila, è stata illustrata da distinti fisici, fra i quali De la Rive (2), Faraday (3), Matteucci (4) ed alcuni altri, che con importanti sperimenti hanno cercato di sostenerla e di appoggiarla nella sua integrità, la teorica del contatto si sostiene con vigore in Germania per opera principalmente di Ohm, di Poggendorff, di

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xi, pag. 161.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 1829, t. xxxvii e xxxix.

(3) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. iv, pag. 225, t. v, pag. 20 e 127, t. viii, pag. 230.

(4) *Annali* suddetti, t. xiii, pag. 162 e 214. Altri due scritti furono pubblicati dall'autore nel giornale straniero *Annales de chimie et de physique*.

Fechner e di moltissimi altri fisici (1), e in Italia dove nacque è stata difesa con somma alacrità da Marianini, che ha pubblicato diversi scritti su tale argomento (2), come pure da Zamboni che si appoggiava sulla durata delle sue pile a secco (§. 1379), e da Belli che si è occupato a dimostrare la tensione dell'elettricità di contatto nella sua integrità con una disposizione differente del condensatore (§ 1296). In Francia ha trovato la teorica del contatto un valido sostenitore in Péclet, il quale ha pure ripetuto le sperienze fondamentali di Volta col condensatore disposto in modo da escludere qualunque idea d'influenza dell'azione chimica (3).

La questione era giunta a tal punto, quando io pure mi occupai in tre successive Memorie dello stesso argomento, il quale è unanimemente ritenuto di somma importanza per la fisica, in quanto che il principio dell'elettricità voltaica si riscontra applicabile in un gran numero di fenomeni non solo della fisica, ma della chimica, della geologia, della fisiologia e di altre scienze naturali. Io verrò qui brevemente discutendo le due teoriche dando un estratto delle Memorie medesime, alle quali potrà ricorrere il lettore che bramasse una più ampia dilucidazione (4).

1399. La questione dell'origine della corrente voltaica secondo le due teoriche si riduce ai due punti seguenti: 1° *La sola forza elettromotrice di contatto può generare la corrente elettrica in una coppia o nella pila?* 2° *Colla sola azione chimica si può egualmente ottenere la corrente?*

L'esperienza risguardante il primo punto è stata istituita da De la Rive e da altri fisici con una coppia d'oro platino purissimi immersi

(1) *Annali* succitati, t. IV, pag. 51. In Germania ha molto contribuito, a ritenere nella sua integrità la teorica del contatto, l'analisi matematica applicata da Ohm alla spiegazione dei fenomeni voltaici.

(2) *Sopra la teoria chimica degli elettromotori voltaici semplici e composti*, Venezia 1830, ed altri scritti sullo stesso argomento inseriti nel t. XX e t. XXI delle Memorie della Società italiana delle scienze, negli *Annali delle scienze* del Lombardo-Veneto del 1836 e infine due altri pubblicati in Modena nel 1838.

(3) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. VI, pag. 38.

(4) Le dette Memorie si sono pubblicate nei miei *Annali di fisica* ecc. più volte citati. La prima col titolo di *Considerazioni ed esperienze intorno all'origine della corrente voltaica*, t. XIX, pag. 166; la seconda *Delle condizioni necessarie alla produzione della corrente voltaica*, t. XX, pag. 243; la terza *Nuove sperienze e considerazioni sull'origine della corrente elettrica nella pila*, t. XXIV, pag. 3 e 243.

nell'acido nitrico, colla quale non ebbe veruna corrente al galvanometro, e se si manifestava qualche movimento nell'ago era esso prodotto da impercettibili eterogeneità sparse sulle lamine metalliche succedendo la deviazione non sempre per lo stesso verso. Versando nel liquido una goccia d'acido cloridrico, la corrente comparisce sensibilissima, mostrandosi l'oro elettro-positivo ed il platino elettro-negativo. Marianini ha ripetuta quest'esperienza, e riconobbe pure che la corrente è debolissima e si manifesta soltanto nei primi istanti dell'immersione e cessa ben presto, ma egli attribuisce la cessazione ad altra causa e la comparsa in principio alla forza elettromotrice del contatto (1). Ma come mai l'aggiunta dell'acido cloridrico al liquido della coppia aumenta la corrente? Sappiamo che l'oro prova l'azione chimica del miscuglio dei due acidi, ed allora la corrente diventa distintissima. È questa una prova concludente che la forza del contatto per se stesso non è capace di eccitare una corrente ben definita e sensibile, senza l'aiuto dell'azione chimica. Avogadro e Michelotti con uno squisito galvanometro non ottennero veruna corrente valutabile sperimentando colla coppia argento-oro ed acido nitrico molto allungato, ma la corrente compariva tosto adoperando acido nitrico meno allungato, che incominciava ad intaccare l'argento (2).

In quanto all'altro punto io istituii alcune sperienze, formando con differenti metalli e liquidi diversi circuiti, nei quali erano adempiute tutte le condizioni prescritte dalla teorica chimica senza avere comparsa di corrente distinta ai galvanometri più squisiti (3). Ho preso quattro tazze di vetro N, A, B, P, nelle quali ho versato una soluzione di sale comune (fig. 360). Nelle tazze A, B, P ho altresì collocato un truogo cilindrico di porcellana porosa pieno d'acqua acidulata in modo d'agire per affinità sullo zinco. Tre lamine di questo metallo, ripiegate in arco, mettevano in comunicazione i liquidi. La prima lamina pescava nell'acqua salsa della tazza N per un capo e per l'altro s'immergeva nell'acqua acidulata contenuta nel truogo della tazza A, la seconda lamina, sommersa per un'estremità nell'acqua salsa di A, andava a pescare coll'altra nell'acido del truogo di B, la terza lamina compieva la comunicazione dell'acqua salsa di

(1) *Memorie di fisica sperimentale*, del 1838. Modena, pag. 27 e seguenti.

(2) *Memorie della R. Accademia delle scienze di Torino*, del 1823, t. xxvii, pag. 74.

(3) Nella Memoria seconda, *Annali* succitati, t. xx, pag. 211.

B coll'acqua acidulata del truogo di P In questo circuito vi ha azione chimica dell'acido del truogo di A sullo zinco in esso sommerso e succede quindi in tal azione svolgimento d'elettrico. Sin qui siamo d'accordo coi seguaci della teorica chimica pura: ma essi vogliono di più che in tale azione l'elettrico sia spinto dal metallo nel liquido; per cui, secondo loro, l'acqua salsa in A dovrebbe mettersi in istato elettrico positivo e quella in N negativo. Per l'azione chimica fra lo zinco e l'acqua acidulata del truogo di B, vi ha pure sviluppo d'elettrico, e secondo gli elettro-chimici una spinta di questo fluido dal metallo nell'acqua acidulata e quindi nell'acqua salsa di B. Lo stesso accadrebbe nei corpi della tazza P. Dunque, secondo la dottrina elettro-chimica pura, ne dovrebbe nascere la corrente elettrica, la quale dalla lamina di zinco andrà per l'acido del truogo e l'acqua salsa della tazza A, indi per la seconda lamina di zinco e pei liquidi di B e per la terza lamina e pei liquidi di P si mostrerà al galvanometro ripigliando in N il suo primitivo corso. Consultando l'esperienza, si è trovato che niuna corrente si manifesta a quello strumento; e quantunque, per l'azione chimica fra lo zinco e l'acqua acidulata dei truoghi, l'elettrico seguiti a svilupparsi dagli atomi della materia ponderabile dove trovasi annidato, esso non si mette in corrente, non dandone indizio l'ago galvanometrico Si noti che i fili reofori erano tutti due di platino o d'oro e pescavano nell'acqua salsa delle tazze estreme N, P direttamente o con piastrine dello stesso metallo delle dimensioni di 24 per 29 millimetri.

A comprovare che l'azione chimica da se sola non è atta a promuovere la corrente elettrica, ho disposto un circuito coi metalli e liquidi seguenti ho preso quattro tazze di vetro P, A, B, N, versando nella prima P dell'acqua salsa, nella seconda A dell'acqua carica d'acido nitrico, nella terza B dell'acqua carica d'acido solforico e nella quarta N dell'acqua salsa eguale a quella contenuta nella prima tazza (fig 361) Ho poscia congiunta la prima tazza P colla contigua A mediante una lamina di platino piegata in arco, la seconda A colla terza B per mezzo d'una lamina d'argento, ed infine la tazza B coll'ultima N mediante una lamina di zinco L'acido nitrico di A esercita azione chimica sull'estremità della lamina d'argento in esso immersa, mentre l'acido solforico della tazza B fa provare l'azione corrispondente allo zinco. Si ha dunque un'azione chimica nella tazza B, che non solo svolge elettrico ma, secondo i seguaci della dottrina elettro-chimica pura, tende a spingerlo dallo zinco nel liquido e quindi nella lamina d'argento, e si ha pure un'azione chimica nella tazza A

dove si svolge egualmente elettrico, il quale, secondo i medesimi, è tradotto dall'argento nel liquido e quindi per la lamina di platino a metterlo in corrente. Se veramente la cosa passasse in tal modo è chiaro che, compiendo il circuito col filo del galvanometro mediante i reofori di platino immersi nell'acqua delle estreme P, N, dovrebbe manifestarsi la corrente elettrica all'ago di quello strumento. Esperimentando più volte in tal maniera eziandio con galvanometri delicati, non si ebbe verun indizio deciso di corrente.

In questi due sperimenti le condizioni della teorica chimica della pila erano adempiute, le azioni della soluzione dell'acido solforico sullo zinco e di quella dell'acido nitrico sull'argento erano assai vive e cospiranti, anzi la seconda era tale che la lamina dell'ultimo metallo venne ben presto sciolta per la porzione che pescava nell'acido nitrico.

1400. Gli sperimenti del precedente paragrafo ci mostrano che nè *l'azione di contatto*, nè *l'azione chimica* per se sole bastano nè sono atte a tradurre in corrente l'elettrico. Qual è dunque la causa che lo fa circolare in una coppia voltaica e nella pila? Per rispondere adequatamente a questa domanda è d'uopo premettere alcune considerazioni.

È ammesso da tutti i fisici che fra gli atomi della materia ponderabile trovasi annidato e latente l'elettrico, che si rende libero e sensibile mediante azioni meccaniche, fisiche o chimiche nello stesso modo del calorico. Si è veduto infatti che collo stropicciamento e con altre azioni meccaniche, col calorico ed eziandio con altri agenti fisici qual è la calamita, e infine coll'affinità e in generale coll'attrazione molecolare si eccita nei corpi l'elettrico. Ora nella pila o in una sola coppia voltaica l'azione chimica del liquido sopra un metallo rende libero l'elettrico, il quale, secondo la legge ben nota, tende a diffondersi e si diffonde effettivamente per ogni lato sui corpi conduttori, che gli si presentano. Questa legge è generale e dimostrata da tutti i fatti, da tutti i fenomeni conosciuti. Affinchè, dal luogo ove si sviluppa, l'elettrico venga diretto per un determinato verso, è necessaria una forza da cui sia determinato a prender quel cammino ed impedisca che altrimenti si diffonda per altre vie obbedendo alla legge generale dell'equilibrio. Nei due ultimi sperimenti del paragrafo precedente si comprende come l'elettrico, reso libero per l'azione chimica del liquido sul metallo, non prenda una determinata direzione, ma, diffondendosi dall'uno e dall'altro lato, si equilibri nel circuito senza mettersi in corrente, e perciò non si abbia verun segno al galvanometro.

Se dunque per l'azione chimica si svolge dalla materia l'elettrico, che secondo la legge generale si diffonde e si equilibra nei conduttori, qual è la forza per cui nelle combinazioni voltaiche è spinto per un dato verso e tradotto in corrente continua? La disposizione del circuito, formato di lamine di zinco, di liquidi e del filo del galvanometro (fig. 360), non dava verun indizio di corrente quantunque fossero adempiute tutte le condizioni della teorica chimica. Ora estraggo il reoforo dal liquido d'una delle tazze estreme N e lo metto direttamente in comunicazione o a contatto collo zinco della stessa tazza N, al momento di questo contatto si manifesta una energica corrente, la quale dal platino si getta sullo zinco medesimo e, percorrendo le successive lamine di zinco ed i liquidi intermedii, entra nel galvanometro per l'altro reoforo di platino posto nella tazza P. Se si tocca col platino la lamina di zinco seguente si ha pure una corrente energica, ed egualmente toccando il terzo zinco. Lo stesso avviene operando nell'egual modo col reoforo della tazza B e lasciando l'altro immerso nell'acqua salsa della tazza N; in questo caso però la corrente è pure energica ma diretta per contrario verso della prima, e contrario a quello che si dovrebbe attendere secondo i seguaci della dottrina elettro-chimica pura.

La disposizione del circuito della fig. 361 non dava pure verun segno di corrente, quantunque fatta secondo le condizioni volute dalla teorica chimica della pila. Ho tenuto immerso il reoforo di platino nell'acqua salsa della tazza P, mentre faceva pescare l'altro nell'acqua acidulata del truogo di A o di quello di B, ed eziandio nell'acido del truogo di P: in ognuno di questi casi non ebbi verun indizio di corrente. Allorquando la soluzione acidulata teneva ospitanti delle particelle d'ossido di zinco, che si mettevano a contatto colla lamina di platino del reoforo, si manifestava tosto una corrente molto sensibile al galvanometro, la quale s'estingueva tosto che il contatto di quelle due materie eterogenee aveva cessato di esistere.

Ho tenuto altresì immersa la laminetta di platino d'uno dei reofori nell'acqua salsa della tazza N, mentre portava quella dell'altro a contatto coll'arco di platino congiungente i liquidi delle tazze P ed A: e niuna corrente apparve al galvanometro. Toccando poscia colla stessa laminetta di platino l'arco seguente d'argento, che unisce A con B, si manifestò una lieve corrente. Risguardando questi sperimenti secondo la dottrina elettro-chimica pura, faremo osservare che l'arco era disposto in modo favorevole a raccogliere l'elettrico fluido sviluppato nella tazza A dell'acido nitrico e in quella B dell'acido

solforico: eppure niuna corrente si è mostrata nel primo caso ed appena sensibile nel secondo Nel primo caso si aveva contatto fra platino e platino, nel secondo fra platino ed argento. Che se colla laminetta stessa d'uno dei reofori si tocchi lo zinco congiungente i liquidi delle tazze B, N, mentre quella dell'altro sta immersa nell'acqua salsa della tazza N, comparisce tosto una corrente di tale energia da far deviare d'un intero quadrante l'ago del galvanometro. La direzione della corrente è qui pure tale che dimostra elettro-negativo il platino ed elettro-positivo lo zinco. Lo stesso ordine di fenomeni si osserva lasciando immerso il reoforo nella tazza P, mentre l'altro si porta successivamente a combaciamento coi metalli degli archi, che uniscono le tazze.

Queste sperienze provano che l'elettrico, svolto nell'azione chimica si mette in corrente continua, diretta nell'uno o nell'altro verso secondo che la forza elettrometrice, nata nel contatto, lo spinge in questa o in quella direzione; e che la corrente per nulla è dovuta all'azione chimica, la quale ha il solo ed unico ufficio di rendere libero quel fluido per essere poscia messo in corrente dall'altra forza. *La corrente nella pila o in una sola coppia è dunque prodotta da due forze l'una la forza svolgente, l'azione chimica, per la quale si rende libero l'elettrico della materia ponderabile, l'altra la forza impellente, l'elettromotrice nata nel contatto, da cui è tradotto in circolazione continua* Importa che questa interpretazione dell'origine della corrente voltaica, all'appoggio dell'esperienza, sia esaminata in ogni circostanza, e si dimostri come colla *teorica delle due forze* si spieghi qualunque fenomeno finora conosciuto, di cui non si può dar compiuta ragione coll'una o coll'altra delle antiche.

1401. Le due forze necessarie alla produzione della corrente nella pila non sono mere supposizioni, esse ci vengono attestate dall'osservazione e dall'esperienza, e quantunque non si conosca la loro intima natura al pari della gravità e delle altre forze, la loro esistenza però non è men certa e nota. Io non ho fatto che dimostrare il bisogno del loro concorso simultaneo per la produzione dei fenomeni voltaici.

È noto dall'esperienza che la forza chimica, disgiungendo e separando le molecole e gli atomi della materia ponderabile, rende libero e sensibile l'elettrico, e lo pone in istato di obbedire alle leggi generali di diffondersi e distribuirsi equabilmente sui conduttori circostanti, senza veruna tendenza per se stesso a dirigersi piuttosto in uno che in altro verso. È appunto per ciò che, per avere i fenomeni

di tensione dell'elettrico sviluppato nell'azione chimica è d'uopo che uno dei corpi risultanti dalla reazione sia separato ed allontanato dall'altro corpo. Esperimentando nella maniera altrove descritta (§.1328) con perossido di manganese posto nel crogiuoletto di platino, si getti su di esso dell'acqua o dell'acido cloridrico il perossido è decomposto, unendosi il suo ossigeno al componente idrogeno dell'acqua o dell'acido cloridrico, mentre l'altro componente, l'ossigeno dell'acqua o il cloro dell'acido, sfugge sotto forma di gas e lascia il corpo rimanente allo stato elettrico positivo, di cui dà segni l'elettroscopio. L'ossigeno, il cloro, il iodio, il bromo e simili, corpi eminentemente negativi, combinandosi coi metalli, non danno segni all'elettroscopio sperimentando nello stesso modo, per la ragione che non vi ha corpo che si separi nella reazione chimica e lasci il residuo allo stato elettrico.

La forza elettromotrice od induttiva se vogliasi così chiamare, nata nel contatto di corpi dissimili, è pure un fatto noto e bene stabilito dalle esperienze fondamentali di Volta (§§. 1319 e 1346). Collo stropicciamento nasce una forza consimile, nella quale si sviluppa l'elettrico fra un corpo conduttore (i cuscinetti) ed uno coibente (il disco di vetro o di resina). Nel primo per sua natura l'elettrico si rimuove in tutta la massa, nel secondo soltanto alla superficie, dove si mette in istato elettrico, il quale per attuazione produce soltanto uno spostamento molecolare nella massa interna (§ 1285). Egli è per ciò che, quando i cuscinetti non sono in comunicazione col suolo da cui riprendere nuovo elettrico se la macchina è a disco di vetro o dove versarne se è a disco di resina, gli effetti sul conduttore della macchina stessa vengano meno e si annullerebbero ben anche quando l'isolamento dei cuscinetti dal suolo e dall'aria fosse perfetto Se nello stropicciamento non si sviluppasse una forza elettromotrice, l'elettrico non potrebbe sbilanciarsi e mettersi in eccesso sopra uno dei corpi e in difetto sull altro. Nel contatto di due corpi dissimili vi ha similmente una forza impellente di superficie, per la quale uno dei corpi si mette allo stato negativo e l'altro a quello positivo. Succede nell'elettrico naturale dei corpi una rimozione di fluido somigliante a quella che ha luogo per attuazione a traverso all'aria, colla sola differenza che quando i corpi sono conduttori vi ha una rimozione reale d'elettrico, mentre nei coibenti ha luogo soltanto uno sbilancio molecolare o locale senza moto e passaggio di quel fluido. Che i corpi posti a combaciamento per le loro superficie spieghino una forza elettromotrice non ci deve far meraviglia, per esserci atte-

stata dalle sperienze fondamentali di Volta verificate in tante maniere differenti da tutti i fisici posteriori, ma ben anche per altri fenomeni di contatto che ci manifestano i corpi, pei quali si sono pure dati dei nomi alla causa ignota da cui sono prodotti, quali sono di *forza catalitica*, *forza di adesione*, *attrazione di superficie* e simili.

Gli elettro-chimici non potendo negare l'elettricità di tensione manifestata nel contatto di due corpi dissimili, hanno cercato di spiegarla supponendo che abbia luogo un'azione chimica dell'umidità dell'aria sul piattello di zinco. Queste sperienze furono perciò istituite in aria ben secca, in differenti gas e con piattelli verniciati e in diverse maniere da Marianini (1), Peclet (2), Belli (3) ed altri fisici, i quali tutti ebbero dal combaciamento i segni di tensione. La forza elettromotrice di contatto in somma è un fatto ben comprovato da un gran numero di sperienze, nella stessa maniera che lo è la forza elettromotrice dello stropicciamento e di altre forze consimili come la pressione, la sfaldatura ecc. di cui si è parlato nella prima sezione. *Non mi domandate come ciò segua*, diceva Volta, *basta che al presente sia un fatto e un fatto generale. Questo incitamento, questa mossa, che viene data al fluido elettrico in virtù di tale combaciamento, sia attrazione, ripulsione, o impulso qualunque ecc.* (4) Marianini ha costrutto una boccia di Leida colle armature dissimili fatte cioè di fogli e di zinco e d'argento, che si carica da sè nel contatto delle medesime (5).

Secondo gli elettro-chimici si vuole però che nell'affinità non solo vi ha svolgimento d'elettrico ma eziandio impulsione nel fluido per un dato verso per produrre la corrente. Gli sperimenti precedenti basterebbero a provare l'erroneità di tale supposizione; tuttavolta riportiamone qualche altro. Nella tazza di vetro T contenente acqua salsa ho immerso un truogo di terra porosa pieno d'una soluzione carica d'acido (fig. 562). Il filo di rame R, congiunto col capo del filo del galvanometro G, è immerso nell'acqua acidulata del truogo, mentre il filo di ferro F unito coll'altro capo pesca nell'acqua salsa della tazza. La soluzione acida era abbastanza carica, affinchè succedesse una viva azione chimica del liquido sul rame. Secondo i se

(1) *Memoria di fisica sperimentale* del 1838 succitata, pag. 117 e seguenti.
(2) *Archives de l'électricité*, di De la Rive, t. I, pag. 621 e seguenti.
(3) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. VI, pag. 180.
(4) *Collezione delle opere* ecc., t. II, parte 2ª, pag. 0.
(5) *Memorie* ecc. precedentemente citate, pag. 88 e seguenti.

guaci della dottrina elettro chimica pura la corrente dovrebbe camminare dall'acido del truogo nell'acqua salsa, transitare pel filo di ferro al galvanometro e pel filo di rame ritornare all'acido per riprendere il suo corso. L'esperienza però somministra un risultato tutto contrario, e si trova che la corrente sbocca nel liquido dal ferro, reso elettro-positivo dalla forza nata nel suo combaciamento col rame (§. 1347), e prendendo la via del filo di rame ritorna al ferro pel galvanometro. Collocando il ferro nel liquido acidulato del truogo ed il rame nell'acqua salsa, l'azione chimica dell'acido aveva luogo sul ferro e la corrente camminava ancora nel medesimo verso di prima. Questa seconda corrente andrebbe d'accordo colle viste della dottrina elettro-chimica: ma perchè la corrente non procede egualmente quando è il rame che prova l'azione chimica dell'acido? Non si saprebbe trovare veruna risposta a tale domanda secondo quella teorica, ma considerando che l'azione chimica non ha potere impellente ed è atta soltanto a svolgere l'elettrico, e che la spinta è data dalla forza elettromotrice di contatto, risulta evidente che la corrente deve nei due casi essere sempre diretta per lo stesso verso.

La soluzione acida molto carica era d'ordinario fatta con acido solforico: quando si adoperava l'acido nitrico il ferro si diportava al principio come corpo elettro-positivo, ma dopo un certo tempo diventava elettro negativo relativamente al rame. Questo fenomeno dipende dallo stato anomalo, che prende il ferro sotto l'azione dell'acido nitrico, il quale lo veste di una sostanza eterogenea per cui diventa elettro-negativo, come si è altrove notato (§. 1359). Ho sostituito in questa disposizione all'acqua salsa, una soluzione di solfuro di potassio, la quale secondo Faraday, non esercita veruna azione chimica sul ferro. Esplorando la corrente, che ne nasce, ho trovato essere essa energica e il rame elettro-negativo per rispetto al ferro.

1402. Nell'azione chimica d'un liquido sopra un metallo non si sviluppa alcuna forza impellente capace di tenere sbilanciato l'elettrico e produrre i fenomeni di tensione. Allorquando però il liquido viene a contatto con un conduttore solido senza esercitare veruna azione chimica, ma soltanto di aderire alla sua superficie, allora l'impulsione ha luogo, la quale cessa tosto che l'adesione si cambia in affinità e l'un corpo agisce chimicamente sull'altro alterandosi la loro natura coi nuovi composti che succedono. Questa verità importa che sia stabilita coll'esperienza, risultandone il principio generale per la generazione in parecchi altri casi della corrente voltaica. Volta aveva già osservato che d'ordinario il potere impellente od induttivo

nel combaciamento dei liquidi coi solidi è minore di quello che nasce fra due conduttori solidi. Ma egli si serviva di liquidi, che spesso esercitavano azione chimica, nel qual caso non havvi forza impellente e d'altronde la scienza possiede oggidì per simili indagini strumenti più proprii e delicati di quelli, che si avevano ai tempi di Volta (§. 1348). Egli però aveva dimostrato l'elettricità di tensione nel combaciamento di conduttori imperfetti (§. 1319).

Nelle sperienze di questa specie io mi serviva d'un elettroscopio assai sensibile fatto con pile a secco, disposte in maniera da poterle avvicinare più o meno alla foglietta d'oro (§ 1381). All'istrumento era applicato il piatto del condensatore ora di zinco, ora di rame, ora di ferro ed ora di metallo dorato (1). Un'appendice, congiunta col collettore, era munita d'un anello, nel quale si adattava all'evenienza una cassula dello stesso o di differente metallo (fig. 363), oppure si attaccava una lista metallica, la quale veniva a pescare in un liquido contenuto in una tazza di vetro (fig. 364). Nella cassula o nella tazza di vetro versava successivamente i liquidi di differente natura, i quali comunicavano col suolo mediante un filo di platino od un conduttore di seconda classe senza toccare la cassula o la lista metallica appesa al collettore. Allorquando il liquido era diluito in modo da non intaccare il metallo della cassula, i segni di tensione riuscivano distinti all'elettroscopio; mentre risultavano nulli o presso che nulli quando la intaccava più o meno fortemente Il rame a contatto con l'acqua salsa si mostrò più elettro negativo dello zinco a combaciamento collo stesso liquido. In ogni caso si pose al cimento la forza elettromotrice fra il liquido ed il metallo spalmando la verghetta (fig. 364) o l'interno della cassula metallica (fig. 363) con sego, manteca, petrolio, cera comune, cera di Spagna, vernice ad olio e con altre sostanze grasse, ed i segni di tensione per l'azione elettromotrice fra il liquido ed i metalli rame, zinco, ferro, oro, comparivano sempre all'elettroscopio. Con una lente si osservava se sulla superficie spalmata comparivano bolle d'idrogeno, le quali ci facessero accorti dell'azione chimica della soluzione sul metallo, quando la vernice era bene applicata non si ravvisavano bolle di gas alla superficie. Parecchie sperienze istituite in tal modo mi dimostrarono che anche tra i liquidi ed i metalli esiste una forza elettromotrice, od una specie di attuazione o forza induttiva, per la quale si sbilancia l'elettrico naturale a quei corpi, risultando nella maggior parte dei casi il metallo

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXIV, pag. 41 e seguenti.

elettro-negativo per rispetto al liquido. Ed è appunto per questa forza elettromotrice fra metallo e liquido, che si genera la corrente in alcune sperienze che vado a descrivere.

Nella disposizione della fig. 362 i due fili F, R sono di rame come quello del galvanometro, con cui sono congiunti. nella tazza di vetro T ho versato dell'acqua salsa, mentre nel truogo di terra porosa era contenuto dell'acqua fortemente acidulata. In questo circuito si manifesta una corrente abbastanza sensibile al galvanometro. Essa è prodotta dall'elettrico, sviluppato nell'azione chimica dell'acido del truogo sul filo di rame e posto in corrente dalla forza nata nel contatto dell'altro filo di rame coll'acqua salsa. Questa forza impellente nasce dal metallo coll'acqua salsa, per cui la corrente si è trovata appunto tradotta da quest'acqua nell'acido del truogo, pel filo di rame intaccato, indi al galvanometro, donde per l'altro filo di rame ritorna all'acqua salsa per riprendere il suo corso. Cambiando posizione ai fili di rame s'inverte la corrente nel galvanometro, essendo però sempre diretta dal filo in contatto coll'acqua salsa nell'acqua medesima. Secondo la teorica chimica la corrente dovrebbe in ogni caso essere contraria a quella mostrata dall'esperienza. Si ha in ciò un'altra prova che l'azione chimica per sè non è atta a tradurre in corrente continua l'elettrico, al quale scopo è necessario l'aiuto della forza impellente od induttiva, che nasce dal combaciamento dei corpi.

Nella seconda delle mie Memorie succitate sono descritti altri circuiti, nei quali la corrente è diretta nel verso indicato dalla forza impellente, che nasce dal combaciamento del liquido col metallo. Fra quei circuiti riporto il seguente: la tazza di vetro A contiene dell'acqua acidulata (fig. 363), e l'altra B dell'acqua salsa. Nella prima sono immerse le piastre di zinco z e di rame r senza toccarsi. Il rame r è legato ad un filo dello stesso metallo che parte dal galvanometro, e la piastra z si congiunge con una listerella di zinco, che mette capo nell'acqua salsa di B, dove pesca anche il filo di rame unito all'altra estremità di quello strumento. La corrente è riuscita distinta, essendo l'elettrico somministrato dall'azione chimica dell'acqua acidulata sulle piastre di zinco e di rame. Vi sono qui due forze impellenti nel combaciamento dell'acqua salsa col rame e collo zinco, le quali, se fossero eguali, non genererebbero, come contrarie, veruna corrente. Si è già veduto però, nell'esperienza precedente, che il rame a contatto coll'acqua salsa è più elettro-negativo dello zinco a contatto col medesimo liquido, ed infatti si è trovato che la corrente, dal filo di rame della tazza B è diretta nell'acqua salsa; donde per la listerella

di zinco passa nell'acqua acidulata di A, e quindi per la piastra di rame r e pel filo corrispondente entra nel galvanometro e poscia ritorna nell'acqua salsa a ripigliare il suo giro. La circolazione dell'elettrico sarebbe qui d'accordo colla teorica chimica, secondo la quale la forza impellente nascerebbe dall'affinità dell'acido di A sulla piastra di zinco z, e la listerella dello stesso metallo non farebbe altro ufficio che di semplice conduttore. Se ciò fosse vero, si dovrebbe avere la corrente d'eguale energia attaccando alla piastra di zinco z un filo di rame invece della listerella di zinco ma con questa sostituzione si ha una corrente molto più energica; perchè la forza impellente fra i due metalli rame e zinco è molto più grande di quella fra il rame e l'acqua salsa.

1403 Quantunque la forza di tensione, prodotta dalla facoltà induttiva fra due liquidi, non possa essere così facilmente mostrata all'elettroscopio col mezzo del condensatore per dover introdurvi il metallo del piatto collettore; tuttavolta si riscontra nelle correnti che ne nascono, e che esaminiamo più avanti.

I gas, come corpi coibenti, non possono in masse più o meno grandi formare parte d'un circuito voltaico. Quando però essi siano divisi in minutissime particelle od in esilissime bolle, e diffusi in liquidi od aderenti a solidi conduttori, allora non presentano ostacolo al passaggio dell elettrico e possono far parte d'un circuito come elettromotori Prova ne sia le due masse d'acqua sparse l'una di bollicine d'idrogeno e l altra di bollicine d'ossigeno, che ricongiunte in circuito voltaico con fili di platino danno luogo a correnti distinte, nelle quali il primo è elettro-positivo rispetto al secondo gas (§. 1367). Parimenti ne sono prova le pile secondarie (§. 1376) e i fili di platino, che hanno servito a condurre una corrente elettrica pescando in un liquido (§. 1377). Abbiamo già fatto osservare che la pila di Grove è una delle applicazioni più luminose della forza impellente dell'idrogeno ed ossigeno coll'intermedio del platino, e che i due gas aderenti a laminette di platino presentano eziandio i fenomeni di tensione all'elettroscopio (§ 1367) In questa pila gli elettrodi di platino non si polarizzano, in quanto che l'ossigeno dell'elettrolito, portandosi al polo positivo, s'incontra l'idrogeno col quale si combina e forma l'acqua, e l'altro componente dello stesso elettrolito, ossia l'idrogeno, andando al polo negativo, s'incontra l'ossigeno con cui si forma pure dell'acqua In tal modo la corrente continua con forza costante, sinchè trovansi gas nei tubi di ciascuna coppia della pila.

1404. Si danno parecchi altri esempi di corpi aderenti alla super-

ficie di metalli, cui fanno cambiare la facoltà elettromotrice nello stesso modo dell'idrogeno o dell'ossigeno aderente al platino. Depositando delle particelle di zinco sopra una lamina di rame, questa diventa elettro-positiva accoppiata con altra lamina di rame e si ottiene un'energica corrente. Il ferro prende il color azzurro in virtù d'un'ossidazione superficiale (1): in tale stato non solo diventa più elettro-negativo accoppiato collo zinco, ma si comporta egualmente col rame e col platino. È in causa di tale strato d'ossido che il ferro resiste all'acido nitrico e chiamasi *anomalo*, per cui si è adottato come elemento elettro-negativo nella costruzione di qualche pila (§. 1359).

Le due teoriche per se sole non bastano a dar ragione dei fenomeni della pila. Se le nostre sperienze provano la necessità della forza elettromotrice e riescono per conseguenza di più contrarie alla *teorica chimica* che alla sua antagonista; non si deve argomentarne che favoriscano la *teorica del contatto*. È dimostrato che *la forza elettromotrice di contatto* ha bisogno d'una sorgente d'elettrico per generare la corrente continua, nella stessa guisa che *la forza elettromotrice dello stropicciamento* trae dal suolo, con cui comunicano i cuscinetti, il fluido, che accumula sul conduttore della macchina elettrica. È appunto nell'azione chimica che si somministra alla pila l'elettrico per la corrente, indipendentemente dalla comunicazione col suolo; per cui i segni di tensione risultano più energici coll'isolamento (§. 1308).

1405. Progrediamo nell'esposizione di altri fatti, che provano maggiormente il concorso simultaneo delle due forze per la generazione della corrente nella pila. Tre tazze di vetro o di porcellana A, B, C contengono, le estreme A, C dell'acqua salsa e quella di mezzo B dell'acqua più o meno acidulata (fig. 366). La lista di rame *r*, che tiene saldata all'estremità una piastra di zinco, fa arco di comunicazione fra i liquidi di A, B, e la lista di zinco *z*, che termina all'estremità in un'eguale piastra dello stesso metallo, riunisce i liquidi delle tazze B, C. Ambedue le piastre di zinco pescano nell'acqua acidulata della tazza B, mentre le loro appendici s'immergono rispettivamente nell'acqua salsa di A, C.

Secondo la teorica chimica la listerella di rame *r*, congiunta collo zinco, altro ufficio non avrebbe che di conduttore, e la corrente dovrebbe essere determinata dall'affinità prevalente dei liquidi su qualcheduno dei metalli. Le due piastre di zinco, essendo di eguale gran-

(1) *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. xviii, pag. 263.

dezza ed immerso nello stesso liquido, provano la medesima reazione e quindi per esse non dovrebbe nascere veruna corrente. Le appendici poi di rame e di zinco, che sono bagnate dall'acqua delle tazze estreme, risentono al più un'azione chimica insensibile, per cui, a norma dei principii della teorica chimica, dovrebbe manifestarsi una corrente molto debole in quanto che sarebbe provocata dalla differenza di quelle azioni sulle appendici dei due metalli. Nella teorica delle due forze la coppia rame-zinco non rimane inoperosa, e ci avverte che per essa si deve produrre dal rame r direttamente nello zinco una corrente distinta, la quale sbocchi nell'acqua acidulata, invada l'altra piastra di zinco z per gettarsi nell'acqua salsa della tazza C a proseguire il suo cammino. Consultata più volte l'esperienza si è appunto trovata una corrente distintissima diretta pel verso indicato. Questa corrente, secondo la teorica delle due forze, doveva essere in parte contrastata dalla forza impulsiva del rame a contatto dell'acqua salsa, che è maggiore di quella tra lo zinco e lo stesso liquido. Per ciò si è posto anche nella tazza A dell'acqua mista ad acido nitrico od idroclorico capace di intaccare il rame. Quest'azione sul rame nella tazza A dovrebbe, secondo la teorica chimica, equilibrare o prevalere sull'altra debole dell'acqua salsa sullo zinco di C, e quindi annullare od invertere la corrente; mentre, secondo la teorica delle due forze, l'azione chimica in A, togliendo la forza impellente fra il liquido (acqua salsa) e il rame contraria a quella della coppia rame-zinco, dovrebbe lasciare maggiore energia alla corrente. Consultata eziandio in questo caso l'esperienza si riscontrò una corrente molto più distinta. Osservasi altresì che, nel caso dell'acido cloridrico, il cloro si combina al rame e l'idrogeno se ne allontana, per cui non si verifica in questo caso il principio ammesso da qualche seguace della teorica chimica (1).

Ho anche modificato la precedente disposizione (fig. 366) per soddisfare ancor più alle condizioni volute dalla teorica chimica, avendo dato alla piastra di zinco appartenente a z una superficie 28 in 30 volte maggiore della piastra dello stesso metallo munita ad r, ma senza avvantaggiare di nulla: la corrente era sempre determinata nella sua direzione dalla coppia rame-zinco.

1406. A meglio confermare il principio che l'azione chimica non è dotata di verun potere impellente capace di tradurre l'elettrico in corrente, ho, nella disposizione precedente (fig. 366), spalmata la

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XIII, pag. 163.

piastra di zinco di r con sego In tal modo, se non si annullava interamente l'azione chimica dell'acido su quella piastra, la si riduceva però al minimo grado ed insensibile, l'altra piastra di zinco, posta a rincontro alla prima nello stesso acido, si lasciava nuda. Su quest'ultima piastra l'affinità esercitava tutto il suo potere, e la corrente, secondo gli elettro-chimici, avrebbe dovuto gettarsi da questa piastra nel liquido acidulato, attraversare il sottile strato di sego, percorrere la coppia zinco-rame e proseguire il suo cammino in quella direzione. Interrogata più e più volte l'esperienza, la direzione della corrente si mostrò sempre ribelle alla via assegnatale dagli elettro-chimici, manifestandosi al galvanometro in contrario verso con pressochè energia eguale a quella di prima Spalmai eziandio la lamina con cera comune, con petrolio, con vernice ad olio opaca o trasparente e sino con cera di Spagna comune - in ogni caso la corrente comparve sempre al galvanometro per lo stesso verso segnato dalla coppia rame-zinco Spalmando invece l'appendice di rame r, la corrente non cambiò direzione, ma diminuì notabilmente di forza per le ragioni altrove riportate §. 1334,

Ho reso ancor più semplice l'esperimento, servendomi soltanto di due tazze, in una delle quali versava dell'acido nitrico più o meno diluito e nell'altra dell'acido solforico pure diluito La piastra di zinco, spalmata di sego od intonacata di cera Spagna, s'immergeva nell'acido solforico, la listerella di rame cui era unita e terminava dall'altra parte in una piastra eguale di rame, s'immergeva per questa nell'acido nitrico L'azione chimica dell'acido nitrico sul rame era più o meno viva, secondo il grado di concentrazione, quella dell'acido solforico sullo zinco coperto di sego o di cera Spagna era insensibile o quasi nulla non si presenta caso più semplice, più chiaro di questo per applicare il canone fondamentale della teorica chimica, secondo il quale il rame, come molto più intaccato dello zinco, dovrebbe versare nel liquido, dov' è immerso, l'elettrico e quindi lo zinco somministrarne continuamente al rame durante la circolazione. Ma l'esperienza mi ha mostrato, in una maniera sempre distinta e costante, che la corrente si dirige nel verso opposto a quello indicato da quel canone e segue invece la direzione assegnatale dal potere induttivo della forza elettromotrice nata nel combaciamento del rame collo zinco

La teorica chimica, al pari di quella del contatto, non è dunque più ammissibile e non può reggersi al cospetto di tanti fatti, i quali, mentre altamente parlano contro di essa, provano la verità ed entrano sotto il dominio della teorica delle due forze.

1407. L'aumento o la diminuzione degli effetti dell'elettricità statica è dovuto ad una variazione di *quantità o densità*, e di quelli dell'elettricità dinamica ad un cambiamento d'*intensità* nel movimento o di *rapidità*. Un carattere proprio all'elettrico in corrente, per cui si distingue dall'altro di tensione, si è che non se ne aumenta l'intensità aumentando la quantità di fluido in movimento, purchè sia animato dalla stessa velocità. Per l'altro stato dell'elettrico, l'azione invece aumenta sino ad un certo punto colla quantità (§. 1261). Per conseguenza l'effetto statico od elettrometrico nella pila si accresce col numero delle coppie, mentre l'effetto dinamico o galvanometrico è indipendente dal numero delle medesime e si accresce soltanto colla grandezza delle piastre, che ne rende maggiore la velocità (§. 1354). Gli effetti, elettrometrico e galvanometrico, per una sola coppia sono subordinati alla forza impellente e per nulla a quella svolgente l'elettrico o all'affinità. Infatti nel primo caso od a circuito interrotto aumenta la tensione o la densità di elettrico accumulato ad un polo, e nel secondo od a circuito compiuto riesce più grande l'impulsione o la velocità della corrente. A pari circostanze quindi la corrente riesce di maggiore intensità nella coppia *carbone-zinco*, di quella *platino-zinco* ed ancor più dell'altra *argento-zinco*, o di *rame-zinco*, nella stessa maniera che la tensione si manifesta maggiore nella prima che nelle altre coppie (§. 1347).

1408. È appunto per ciò che per eguale forza elettromotrice delle coppie, qualunque sia l'azione chimica forte o debole, l'effetto galvanometrico riesce sempre eguale. Questa verità è stata dimostrata con parecchie sperienze da Marianini, dal Nobili (1), e da altri. Una tale verità risulta anche da alcune delle precedenti sperienze, e si rende palese nella scuola colla seguente. Si abbiano tre tazze di vetro; nelle due estreme si versi dell'acqua salsa e in quella di mezzo successivamente dei liquidi diversi capaci ad esercitare differente affinità sullo zinco immerso in essi. La prima colla seconda tazza si mettano in comunicazione mediante una coppia di rame-zinco, mentre un arco di platino unisce la tazza di mezzo coll'altra estrema. Si versi primieramente nella tazza media dell'acqua salsa eguale a quella delle estreme, indi in sua vece dell'acqua leggermente acidulata con acido solforico, che si rende poscia sempre più carica, si versi altresì dell'acido nitrico successivamente in maggior quantità, e in

(1) *Saggio di sperienze elettrometriche*, di Marianini, pag. 26; *Memorie ed osservazioni* ecc. di Nobili, t. 1, pag. 99.

seguito dell'acido cloridrico, ed anche una mescolanza dei due ultimi acidi più o meno diluita. sperimentando l'intensità della corrente al galvanometro si trova che, a pari circostanze delle piastre, non varia e si conserva la medesima tanto che l'affinità del liquido sullo zinco sia debole quanto che sia energica.

I principii dichiarati mettono in chiaro un fenomeno, il quale non riceve una soddisfacente spiegazione colle antiche teoriche. Lo zinco amalgamato, accoppiato col rame o col carbone, dà una corrente non inferiore a quella ottenuta dal solo zinco a contatto rispettivamente con quei corpi Nell'amalgama vi ha minor azione del liquido sullo zinco, per cui minor quantità d'elettrico si presenta per essere tradotto in corrente. Questa quantità è però più che sufficiente ad alimentare la corrente, sapendosi dalle valutazioni di Faraday e di Becquerel che la disossidazione di tanto idrogeno, capace di dare un milligrammo d'acqua, potrebbe somministrare tant'elettrico da caricare 20 mila volte una lamina coibente d'un metro quadrato d'armatura alla tensione da balenare la scintilla alla distanza d'un centimetro. In ragione del peso atomico dello zinco e del mercurio, è facile calcolare l'enorme quantità d'elettrico, che si otterrebbe dall'ossidazione anche d'una piccola quantità di quei metalli. Egli è per ciò che lo zinco amalgamato, a malgrado provi lenta azione chimica dal liquido, somministra ancora elettrico bastante al mantenimento della corrente, la cui energia dipende dalla forza elettromotrice. Per questa lenta ossidazione del metallo positivo, conservandosi sensibilmente costante la forza impellente, rimane del pari costante la corrente, e lo zinco amalgamato riesce utile per tal motivo nella costruzione delle pile (§. 1337)

1409. L'effetto elettrometrico si può pure considerare come indipendente dall'azione chimica; giacchè questa, per quanto sia tenue, somministra sempre abbastanza elettrico per essere condensato dalla forza impellente sopra una superficie più o meno ampia e produrre i fenomeni dell'elettricità statica. Più volte ho sperimentato coll'elettrometro-condensatore, servendomi della coppia rame-zinco Sull'appendice dorata del collettore disponeva della carta imbevuta d'acqua pura, od anche più o meno salata, più o meno acidulata, colla quale metteva a combaciamento lo zinco della coppia tenendone il rame colla mano in comunicazione col suolo: in ogni caso ottenni sempre eguali indicazioni all'elettrometro. Ognuno sa che i segni di tensione non appariscono facendo uso d'una lamina interamente di zinco, perchè in questo caso, quantunque vi sia l'elettrico svolto nell'azione

chimica, non vi ha la forza impellente nata dal contatto dei due metalli dissimili.

1410. Da quanto si è dichiarato si comprende il bisogno di due forze per la generazione della corrente voltaica. l'una, *l'impellente*, semplicemente *adesiva*; l'altra, la *svolgente*, del tutto *chimica*. La prima da semplice adesione od attrazione di superficie può diventare affinità od attrazione chimica, e quindi produrre dei cambiamenti nell'energia della corrente elettrica. L'azione chimica può essere celere o lenta, repentina o tarda nella sua azione, ed è sempre preceduta da un'azione di superficie induttiva. Si sa infatti dalle nozioni più comuni che l'*adesione* precede sempre, anche per un istante, l'*affinità e quella* può trasformarsi più o meno celeremente in *questa*. Allorquando dunque due corpi, che hanno fra loro affinità, si mettono in presenza l'uno dell'altro, accade tra essi da principio un'azione induttiva, la quale può cangiarsi ben tosto in azione chimica in tutti i punti della superficie combacianti.si, oppure impiegarvi un certo tempo, od anche avvenire il cangiamento sopra un numero più o meno grande di punti rimanendone altri a semplice combaciamento ed esercitare fra loro soltanto un'adesione, finchè anche fra questi subentri l'affinità col suo potere. Quando la forza induttiva ha luogo fra i metalli o i corpi detti conduttori di prima classe, essa si mostra con maggiore permanenza, perchè la natura e lo stato di questi corpi non si prestano così facilmente alla trasformazione dell'adesione in affinità. Che se, fra le materie accoppiate, vi ha almeno un liquido od un conduttore di seconda classe, allora l'una forza si trasforma d'ordinario senza difficoltà nell'altra, e così il potere induttivo, prodotto dal semplice contatto, riesce temporario e variabile, e per conseguenza labile ed incostante la corrente. Queste conseguenze si deducono dall'ordine stesso dei differenti fatti, che presenta l'esperienza. A questi principii si annodano tutti i diversi accidenti, che s'incontrano in qualunque combinazione voltaica, e ne scaturisce la spiegazione dei diversi fenomeni dell'elettricità dinamica.

Si abbiano due lamine di zinco applicate rispettivamente ai capi del galvanometro, e s'immergano contemporaneamente in un liquido più o meno conduttore, più o meno atto ad intaccare quel metallo. In quest'esperimento ben di rado avviene che l'ago dello strumento non dia indizio della comparsa di corrente elettrica. Se il liquido abbia debole affinità e non sia capace d'intaccare subitamente le due lamine in tutti i punti delle loro superficie, accade che in quelli, non ancora sottoposti al dominio dell'affinità, la forza induttiva od elet-

tromotrice eserciti il suo potere, e quindi, mentre dagli uni si ha svolgimento d'elettrico, in altri si sviluppi l'impulsione da cui è messo in circolazione per un dato verso. Nello sviluppo della forza elettromotrice pel combaciamento d'un conduttore di prima con uno di seconda classe, il primo corpo, come si disse, riesce d'ordinario elettro-negativo in rapporto al secondo. Se quindi accidentalmente avvenisse che, sopra d'egual numero di punti di quelle lamine, non si esercitasse l'affinità, si avrebbero due forze impellenti eguali e non ne risulterebbe veruna corrente. Questo caso è affatto fortuito e difficile ad avverarsi, per cui al momento dell'immersione nasce quasi sempre una corrente elettrica, la quale scomparisce tosto che l'affinità del liquido sul metallo siasi estesa su tutti i punti delle superficie delle lamine. Ed è appunto ciò che si verifica nell'esperienza, non solo con lamine di zinco d'eguale o di differente grandezza, ma eziandio di altri metalli, il che, secondo la dottrina elettro-chimica, non dovrebbe accadere quando l'ossido si sciolga nel liquido. Conseguenza di questi principii sono gli sperimenti superiormente descritti dove vi ha un solo metallo (§. 1402).

Un'altra prova convincente del principio esposto si ha dall'esperienza seguente, che si può variare a piacere con diversi metalli. Due lastre di rame si attacchino ai capi del filo del galvanometro, una delle quali sia sfregata con sego o spalmata d'altro intonaco capace a preservare il metallo dall'immediata azione chimica dell'acido. Immerse le due lastre in acqua acidulata, ne nasce una corrente elettrica diretta secondo la dottrina delle due forze, cioè dal rame intonacato nella soluzione acida, donde passa nell'altra lastra metallica sottoposta all'azione chimica, e per conseguenza la corrente si muove in verso opposto a quello assegnatole dalla teorica chimica. Risultamento eguale si ottiene con due laminette eguali di stagno immerse nell'acqua mescolata con acido nitrico. In queste sperienze il metallo deve essere di tal natura da possedere una facoltà elettromotrice distinta sotto l'influenza del liquido dove viene immerso. Lo zinco per es. è un corpo pochissimo elettro-negativo in riguardo ad un conduttore di seconda classe (§. 1319), essendo inferiore al rame a contatto d'un liquido (§. 1402). Nelle mie Memorie succitate si possono vedere parecchi altri sperimenti consimili ed altri diversi, che ricevono tutti facile spiegazione dagli esposti principii (1).

1411. Dagli stessi principii si ritrae altresì la spiegazione di parec-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. [illegible], pag. 216-234.

chie sperienze già conosciute. Avogadro ha osservato pel primo (1) ed in seguito a lui molti altri che, quando due piastre dello stesso metallo unite ai capi del galvanometro si cimentano in un liquido acido od altro capace ad intaccare il metallo medesimo, quella immersa per la prima risulta elettro positiva per rapporto all'altra introdotta qualche tempo dopo nello stesso liquido. La piastra dapprima immersa si veste generalmente d'un lieve strato d'ossido alla superficie, il quale impedisce un'ulteriore azione chimica del liquido su di essa. Cessando quest'azione subentra la forza elettromotrice e la piastra diventa elettro-negativa per rispetto al liquido e per ciò elettro-positiva in confronto dell'altra piastra, la quale all'atto dell'immersione prova l'azione chimica del liquido e lascia libera la forza impellente della prima piastra.

Si osservi che il fenomeno si verifica soltanto in alcuni casi, mentre in altri avviene il contrario. Si prendano infatti due piastre di stagno ben terse ed omogenee, tagliate cioè dallo stesso pezzo di metallo, e quindi tali che, immerse contemporaneamente nell'acido nitrico allungato, non diano verun segno di corrente. Ora si lasci una di esse in quel liquido per circa un minuto e poi vi s'immerga l'altra asciutta e forbita: la prima risulta elettro-negativa per rispetto alla seconda, e la corrente è diretta in verso contrario a quella avuta superiormente operando con altri metalli e liquidi. L'ossido di stagno si scioglie tosto nel liquido, e la piastra dapprima immersa continua ad esserne intaccata quando vi s'immerge l'altra, che si mette al momento in coppia elettromotrice col liquido. Accade lo stesso se si adopera la soluzione d'ammoniaca invece dell'acido nitrico diluito. Marianini ha pure istituito parecchie di consimili sperienze dirette a confermare la suannunziata legge (2), la quale non sempre si verifica, come è stato ritrovato anche da altri fisici. Marianini faceva uso di acqua salata e di altre deboli soluzioni, le quali aderiscono ed intaccano molto lentamente i metalli, e quindi gli effetti erano sempre uniformi.

Tutti i surriferiti fenomeni sono un'illazione degli esposti principi. Infatti, quando il conduttore liquido ha debolissima affinità col metallo, al momento s'immerge la seconda piastra, la prima ha già preso un contatto più perfetto col liquido, e trovasi in situazione più fa-

(1) *Memorie della Reale Accademia delle scienze* di Torino del 1823, t. xxvii, pag. 57, e *Bulletin* ecc. di Ferussac, t. i, pag. 30.

(2) *Saggio d'esperienze elettrometriche* succitato, pag. 89 e seguenti.

vorevole a spingere l'elettrico nel liquido in virtù della maggior forza induttiva acquistata in confronto di quella immersa poco dopo, e risulta quindi rispetto alla medesima elettro-positiva. Ma se il liquido eccitatore, tanto per sua natura quanto per la sua concentrazione, spieghi sul metallo grande energia, allora le bisogna procedono in ordine inverso: la piastra, immersa per la prima, è già sotto il dominio dell'affinità quando s'introduce l'altra nel liquido, e perciò quest'ultima tende a spingere l'elettrico nel liquido ossia riesce elettro-positiva per rapporto a quella di prima immersione. Nel caso dunque di debole affinità fra liquido e metallo, la coppia impellente è costituita dalla piastra di anteriore immersione e dal liquido, e in quello di affinità energica la coppia è formata della piastra di posteriore immersione e del liquido, e la corrente si manifesta in ordine inverso del primo caso. Del resto si consulti la mia terza Memoria succitata per vedere come ne risulta la spiegazione di altri fenomeni consimili (*Annali* ecc., pag. 254). I principii dichiarati danno altresì ragione di tutte le sperienze istituite da Faraday, De la Rive ed altri, che in alcuni casi non si spiegano anzi sono contrari alla teorica chimica pura.

1412. I seguaci della teorica chimica pura adducono alcuni fatti, i quali non si possono spiegare colla sola teorica del contatto, mentre entrano facilmente anche questi sotto il dominio della teorica delle due forze. Si abbia una coppia ferro-rame immersa in soluzione acida, il ferro, come si sa, risulta elettro positivo per rispetto al rame. In questa combinazione le due teoriche anche sono d'accordo. Prendendo invece per liquido intermedio la soluzione di idrosolfato di soda, di potassa o d'ammoniaca, la corrente procede in contrario verso e il ferro riesce elettro negativo in riguardo al rame. Gli elettrochimici fanno osservare che questo fatto riceve facile spiegazione, imperciocchè è il ferro che nella soluzione acida è maggiormente intaccato in confronto del rame, nel caso dell'idrosolfato è il rame che subisce maggior azione chimica, per cui la corrente è invertita.

Primieramente osserveremo che, dalle sperienze superiormente descritte, si è veduto esistere in un circuito affinità anche energica disposta secondo la teorica chimica senza che nasca veruna corrente elettrica. Come è riprodotta dunque in tal caso la corrente e come la forza impellente dal rame nel ferro si cambia prendendo altro elettrolito? Abbiamo ripetuto più volte quest'esperienza ed abbiamo trovato che, quando l'elettrolito intermedio è una soluzione acida, la corrente si mostra energica al galvanometro e dura per molto tempo,

quando invece si adopera per elettrolito la soluzione d'idrosolfato, la corrente è molto debole e diminuisce prontamente, riducendosi talvolta ben presto a zero. Il composto, che si forma per l'azione chimica dell'idrosolfato sul rame, non impedisce il corso alla corrente elettrica anche d'una sola coppia; per cui non si può dire che sia indebolita per la non conducibilità del composto formatosi. Nell'esperienza addotta si ha dunque l'azione chimica del liquido sul rame svolgente l'elettrico, e vi sono due forze impellenti, l'una fra i due metalli dal rame immediatamente nel ferro, l'altra dall'idrosolfato, corpo molto elettro-negativo, diretta immediatamente nello stesso ferro. Non havvi veruna sperienza, la quale provi che la forza elettromotrice, nata dal contatto di due metalli dissimili, sia sempre maggiore di quella prodotta nel combaciamento d'un solido con un liquido. Volta stesso anzi ha trovato che un solfuro accoppiato coll'argento o col ferro sviluppa maggiore forza elettromotrice di due metalli dissimili (§ 1350). L'elettroscopio inoltre mostra che l'idrosolfato di potassio è elettro-negativo a combaciamento del ferro (Vedi la mia Memoria terza, pag. 259). Per cui le due forze impellenti, che si hanno nel circuito dalle coppie rame-ferro ed idrosolfato-ferro, si contrastano bensì la loro azione ma non si elidono, e l'ultima prevale sulla prima, talchè la corrente va dal liquido nel ferro e da questo nel rame. I seguaci della teorica del contatto spiegano il fenomeno dell'inversione della corrente, supponendo che avvenga una polarizzazione contraria dei due metalli nel senso voltaico. Come mai in tale ipotesi questa pretesa polarizzazione è grande in principio e scema ben presto e si annulla? Dovrebbe essere tutto all'opposto, cioè tenue nel primo istante dell'immersione della coppia nel liquido e crescere poscia collo star immersa nel medesimo.

Per isciogliere la questione ho istituita la seguente sperienza, nella quale si trova una sola delle forze elettromotrici contrarie, che nascono dal combaciamento di quei corpi e si è aggiunta una seconda azione chimica disposta in modo che sia cospirante colla prima. Sono tre tazze di vetro A, B, C (fig. 367); nelle due estreme A, C si è versata dell'acqua salsa ed in quella di mezzo B una soluzione d'idrosolfato d'ammoniaca. Nella tazza A si è collocato un truogo di porcellana porosa pieno di soluzione molto carica d'acido solforico. Un filo di ferro pesca nell'acido del truogo da una parte e dall'altra nella soluzione d'idrosolfato, ed un filo simile di rame mette in comunicazione il liquido della tazza B con quello della C. Qui si hanno due azioni chimiche cospiranti, quando esse fossero atte, non solo a svol-

gere l'elettrico fluido, ma ben anche a dargli impulsione per un dato verso, si dovrebbe ottenere la corrente di maggior energia di quando si adopera la sola soluzione d'idrosolfato. Si è trovato in vece la corrente incerta, talvolta debolissima, che cammina dal rame nell'idrosolfato, nel ferro ecc. Allorchè si manifestava questa corrente, essa cessava ben presto, e dopo essere l'ago ridotto a zero, si alternò posto ai reofori e si manifestò talvolta una corrente in contraria direzione alla prima. Tale incertezza della corrente si riconosce tosto riflettendo che, oltre la forza impellente della coppia rame-ferro, vi ha l'altra diretta dall'idrosolfato nel ferro, come pure quella dal rame nell'acqua salsa della tazza C. Quest'ultima è contraria alla seconda e cospirante colla prima, alla quale, nella precedente sperienza, prevaleva quella dell'idrosolfato-ferro. E per questo contrasto, alla forza prevalente nella prima sperienza, che l'energia della corrente è diminuita invece d'aumentare secondo il canone degli elettrochimici.

Al filo di rame, che unisce le due tazze B, C, ho sostituito un arco composto di rame e di zinco, facendo pescare il rame nell'idrosolfato della tazza B e lo zinco nell'acqua salsa della C. Lo zinco aggiunto non dovrebbe fare l'ufficio che di conduttore, ma invece si ha per esso una corrente distinta determinata dalla coppia rame-zinco. Altre sperienze consimili ho istituito in conferma dei principii esposti, dalle quali si rileva sempre più che l'azione chimica non è per nulla dotata di potere impellente capace a determinare la direzione della corrente elettrica (1).

1413. Una delle sperienze, per provare che l'azione chimica è atta per se sola a produrre la corrente, s'istituisce con due bicchieri, in uno dei quali si contiene dell'acido nitrico concentrato e nell'altro una soluzione pure concentrata di potassa. Con uno stoppino d'amianto si uniscono i due liquidi, i quali salgono in virtù della capillarità e si combinano fra loro. Allorquando vengono in presenza si manifesta la corrente elettrica, la quale dalla potassa, per lo stoppino, va nell'acido e transita pel galvanometro ritornando alla potassa. La congiunzione col galvanometro si fa per mezzo di lastrine di platino attaccate a filo dello stesso metallo, l'una di esse s'immerge nell'acido nitrico e l'altra nella potassa. Per evitare che le due lastrine di platino siano a contatto con liquidi differenti, Becquerel, cui si deve questo sperimento, ha anche aggiunto a ciascuna estremità due bic-

(1) La Memoria seconda suacitata negli Annali, t. xx, pag. 260 e seguenti.

chieri, ripieni d'acido nitrico: l'uno di questi è posto in comunicazione colla soluzione di potassa mediante un tubo di vetro ricurvo pieno d'acqua, e l'altro comunica nello stesso modo coll'acido.

In queste disposizioni ho introdotto una coppia rame-zinco, prendendo al solito tre bicchieri o tre tazze A, B, C e versando in B la soluzione di potassa e nelle estreme l'acido nitrico (fig. 368). Uno stame di fili d'amianto metteva in comunicazione la potassa coll'acido nitrico di una tazza estrema, e la coppia rame-zinco congiungeva la stessa potassa e l'acido dell'altra tazza pescando il rame nella potassa. Al momento che s'immergeva la coppia rame-zinco, si aveva una corrente distinta contraria alla precedente, cioè diretta dalla piastra di rame immediatamente in quella di zinco. Gli elettro-chimici potrebbero spiegare il fenomeno ammettendo che l'azione chimica dell'acido nitrico sullo zinco sia maggiore di quella dell'acido stesso sulla potassa, per cui si ha prevalente la nuova forza introdotta, che produce la corrente in contrario verso. Ma si è invertita l'immersione della coppia rame-zinco, mettendo il rame nell'acido e lo zinco nella potassa, ne risultò una corrente molto più energica e diretta nello stesso verso di quella, che nasceva per la sola reazione della potassa e dell'acido. Come mai, a malgrado dell'azione chimica vivissima dell'acido nitrico sul rame, la corrente segue l'andamento indicato dalla forza elettromotrice, che nasce dalla coppia metallica? Come mai la corrente diminuiva quando lo zinco invece del rame veniva intaccato dall'acido nitrico? Si scorge dunque che la corrente è per nulla diretta dall'azione chimica. Ma in quella nata dalla sola presenza dell'acido sull'alcali, dove si trova la forza impellente? Questa assolutamente non nasce dall'azione chimica, essendo tale ipotesi contraddetta da molte altre sperienze.

Secondo quell'ipotesi, avendo nascimento la forza elettromotrice nella combinazione dell'acido coll'alcali, questo sarebbe elettro-negativo rispetto all'acido stesso, quando parecchi fatti, di cui si è fatto cenno (§ 1757), provano senza alcun dubbio, che gli alcali sono corpi eminentemente elettro-positivi e gli acidi elettro-negativi. La forza elettromotrice dunque dell'acido nitrico e della potassa si esercita coll'intermedio del conduttore metallico che compie il circuito, e la corrente va appunto pel filo del galvanometro dall'acido nitrico alla potassa, donde passa nell'acido stesso per riprendere il suo corso. Succede insomma come dell'ossigeno in presenza dell'idrogeno nella pila a gas (§ 1567), la cui forza elettromotrice si sviluppa per l'intermedio del platino. Si osservi altresì che nell'elet-

tromotore a gas si hanno i segni di tensione indipendentemente dall'azione chimica (§. 1368). D'altronde, sostituendo due liquidi ai gas della disposizione di quella pila, la forza elettromotrice si esercita come ha trovato Grove, nell'egual modo, e ciò conforme alle pile formate di due liquidi e d'un metallo intermedio (§. 1364). Da questi fatti differenti risulta evidentemente che, nella combinazione della potassa coll'acido nitrico, si svolge soltanto l'elettrico, il quale è tradotto in corrente dalla forza elettromotrice di quei due corpi agente coll'intermedio del metallo, essendo appunto diretta per questo dall'acido, elettro-negativo, nella potassa elettro-positiva.

1414. Abbiamo altrove fatto conoscere i principi, da cui dipende la costruzione delle pile a corrente costante (§. 1357). Ora ci troviamo in situazione di comprendere come quelle pile, qual è quella di Grove (§. 1359), di Bunsen (§. 1360), di De la Rive (§. 1361), ed altre consimili a due liquidi divisi da diaframma poroso, riescono a pari circostanze più energiche delle ordinarie. Infatti nelle due prime, oltre la coppia dei due conduttori solidi platino-zinco e carbone-zinco, vi ha l'azione elettromotrice dell'acido nitrico in presenza dell'acqua salata o leggermente mista con acido solforico. L'acido nitrico è eminentemente elettro-negativo e forma colla soluzione salina od acidulata un'altra coppia voltaica, la cui forza elettromotrice, esercitata a traverso il diaframma poroso senza che abbia luogo azione chimica, è cospirante colla forza principale dei conduttori solidi, e si ha in tal modo una corrente più energica. Lo stesso si dica della pila di De la Rive, nella quale la coppia secondaria formata di perossido di piombo ed acqua salata od acidulata aumenta l'azione della coppia primaria. L'accrescimento di energia in questi elettromotori non troverebbe plausibile spiegazione nella teorica chimica.

Coi principi dichiarati si spiegano eziandio alcune inversioni di correnti osservate da Nobili secondo che si espone in presenza di un acido un corpo allo stato solido o a quello di liquido (1). Un bastoncino di calce messo a contatto coll'acido nitrico produce una corrente, che dall'acido pel filo del galvanometro va nella calce, adoperando invece l'acqua di calce la corrente è invertita. Nel primo caso fra l'acido e la terra alcalina l'azione chimica è grande, e quindi fra i due corpi la forza impellente nel loro contatto immediato è debole o nulla, mentre si conserva quella per l'intermedio del filo metallico. Siccome poi l'acido è elettro-negativo rispetto a quella terra; così la corrente

(1) *Memorie ed osservazioni* ecc., t. I, pag. 95

è diretta dal liquido nitrico pel filo metallico nella calce e da questa nel liquido medesimo. Allorquando la terra è sciolta nell'acqua l'azione chimica riesce debole, per cui rimangono molti punti fra i quali succede l'induzione elettromotrice, prevalente all'altra che ha luogo per l'intermedio del lungo filo metallico del galvanometro, e la corrente va direttamente dal corpo elettro-negativo, l'acido, in quello elettro-positivo, la calce, ossia ha una direzione contraria alla precedente. Lo stesso si dica d'altre inversioni consimili, che non si sanno spiegare dai seguaci della teorica chimica.

Infine diremo che si dà ragione come talvolta si possa sviluppare l'idrogeno al polo negativo (§. 1405) e l'ossigeno a quello positivo secondo l'esperienza di Poggendorff (1).

1415. La teorica delle due forze spiega nei diversi casi la produzione della corrente elettrica nella pila ed in qualunque circuito voltaico. I seguaci di quella elettro chimica sono obbligati per la spiegazione di alcuni fenomeni, di ricorrere a nuove ipotesi, le quali talvolta si contraddicono (Vedi la mia terza Memoria, pag. 277). La differenza essenziale, che si riscontra fra la teorica chimica e quella delle due forze, si è che nella prima si vuol dotare l'affinità non solo del potere di svolgere l'elettrico fluido dagli atomi della materia, ma ben anche della forza impellente capace a dirigerlo per un dato verso in corrente continua. Quest'ultima forza risiede soltanto nella facoltà induttiva ben nota e determinata, che nasce dalla semplice adesione di materie dissimili.

La teorica del contatto esclude ogni azione chimica, e quindi con essa non si può spiegare la mancanza della corrente in parecchie combinazioni, dove le condizioni volute dalla medesima sono interamente adempiute. Si è veduto che avviene dalla coppia platino-oro immersa nell'acido nitrico puro e misto coll'idroclorico, ora aggiungiamo che si ha assolutamente niuna corrente da una pila isolata e composta di quelle coppie con liquido intermedio d'acqua salata o mista con acido solforico o di qualunque altro liquido incapace di agire chimicamente sui due metalli. La pila nel vuoto perde della sua azione appunto per la ragione che vien meno l'azione chimica destinata a somministrare l'elettrico per la corrente.

L'azione chimica e la forza elettromotrice riunite sono necessarie dunque alla produzione della corrente. Alcuni fisici vogliono attribuirne l'origine soltanto alla prima ed altri alla seconda (§. 1398).

(1) *Annali di Fisica* ecc. più volte citati, t. XXVI, pag. 37.

Nobili invece era inclinato a credere che anche le correnti voltaiche dipendessero da uno sbilancio di calorico (1). Becquerel ingenuamente confessa che i lavori di De la Rive non l'avevano determinato ad abbandonare interamente la forza elettromotrice di Volta, ma a restringere considerabilmente la sua influenza nei fenomeni elettrochimici (2). L'inglese Davy riteneva soltanto che l'azione chimica fosse indispensabile, affinchè l'elettrico sviluppato nel semplice contatto venisse condotto, ossia avesse luogo la corrente in virtù dell'elettrolizzazione del liquido. A cui soggiunge Becquerel che una tal maniera di vedere *se trouvait être un mezzo termine entre l'opinion des partisans du contact et celle de l'action chimique* (3). Infine il fisico francese Marie Davy, in una sua Memoria *sulle leggi della pila* pubblicata posteriormente, asserisce francamente che nè la teorica del contatto, nè l'elettro-chimica soddisfano per sè sole alla spiegazione di tutti i fenomeni voltaici (4).

Se dunque fatti semplici e chiari dimostrano incontrovertibilmente che si può dare azione chimica anche potente in un circuito disposto secondo i principii degli elettro-chimici, senza che vi abbia verun indizio di corrente ai galvanometri più squisiti; se l'azione chimica, come forza impellente, è contraddetta da gran numero di sperienze; se nel contatto di metalli dissimili si hanno altri fatti senza comparsa di corrente, se la questione dell'origine dell'elettricità voltaica non può essere sciolta con vaghi ragionamenti e con astratte considerazioni essendo l'esperienza il solo tribunale per deciderla, se la nuova teorica delle due forze, fondata su moltiplici sperienze, spiega tutte le contraddizioni e tutte le anomalie che s'incontrano adottando l'una o l'altra delle due antiche, e se infine è una verità da tutti ammessa che *la migliore delle teoriche è quella applicabile al più gran numero di fatti*, mi sembra con buona logica di poter asseverantemente conchiudere che la teorica delle due forze abbia tutti i caratteri d'essere la migliore, dandosi con essa spiegazione di tutti i fenomeni conosciuti e le giuste condizioni per ottenere nella pila la corrente voltaica.

1416. Conoscendosi ora l'origine delle diverse correnti elettriche, interessa di stabilirne le leggi pei diversi conduttori, come si è fatto

(1) *Memorie ed osservazioni*, t. i, pag. 85.
(2) *Traité de l'électricité et du magnétisme* ecc., t. i, pag. 253.
(3) Lo stesso *Traité* ecc., t. i, pag. 257.
(4) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xxvii, pag. 160.

della tensione (§. 1239, e della scarica (§. 1290) nell'elettricità statica. Osserviamo primieramente che nell'elettricità statica si verificano due leggi, cioè che *la conducibilità è in ragion inversa della lunghezza del conduttore e nella diretta del contorno della sezione trasversale del medesimo* (§. 1335) Nell'elettricità dinamica ha luogo pure la prima legge, e in quanto alla seconda *la conducibilità è in ragione diretta dell'intera sezione trasversale.*

Davy ha letto alla Società R. di Londra, nel luglio del 1821, una Memoria, dove descrive parecchie sperienze, istituite allo scopo di determinare il rapporto di conducibilità dei fili metallici Egli compieva il circuito d'una data pila mediante sottilissimi fili di metallo, del diametro cioè di circa millimetri 0,12 $\left(\frac{1}{220}\right.$ di pollico$\left.\right)$ ed osservava quanti di questi fili erano necessarii a tradurre la corrente da un polo all'altro della pila. Sostituiva poscia ad essi un solo filo eguale in massa ed in lunghezza alla somma dei piccoli: quantunque la superficie dell'unico conduttore nel secondo caso risultasse minore della somma delle superficie dei sottili conduttori nel primo, ne conseguiva però lo stesso effetto. Osservava altresì quale lunghezza doveva dare a fili di differente diametro affine di tradurre per intiero la corrente elettrica. Con esperimenti di questa specie il celebre fisico inglese ha trovato che la conducibilità segue le leggi suannunziate o in altri termini che *la resistenza al passaggio è in ragione diretta della lunghezza ed inversa della sezione*, cioè R $=\frac{L}{S}$. Ha rinvenuto altresì i rapporti di conducibilità di differenti metalli altrove riportati (§. 1333).

Pouillet ha intrapreso delle sperienze somiglianti ed ha ugualmente rinvenuto che la conducibilità è in ragione diretta della sezione o del quadrato del diametro del filo metallico. In quanto all'altra legge dell'inversa della lunghezza, essa è sembrata all'illustre fisico francese verificarsi sotto una data condizione. Impiegando successivamente le lunghezze m, m', m'' ecc del medesimo filo, le conducibilità t, t', t'' ecc. non erano in ragione inversa di m, m', m'' ecc., ma in ragione inversa di queste lunghezze aumentata ciascuna della stessa quantità c: talchè si aveva

$$\frac{c+m}{c+m'}=\frac{t'}{t};\ \frac{c+m}{c+m''}=\frac{t''}{t};\ \frac{c+m'}{c+m''}=\frac{t''}{t'}\ \text{ecc.}$$

La quantità c, che rimaneva costante per le diverse lunghezze dello stesso filo, cambiava colla natura della materia, e per ciascuna era

in ragion inversa della sezione del filo. Pouillet ne trae quindi la conseguenza che la conducibilità è rigorosamente in ragion inversa della lunghezza dei fili, purchè si tenga conto della resistenza, che prova l'elettrico ad attraversare il liquido delle coppie della pila ed a percorrere i diversi conduttori, pei quali transita nei fili sottoposti all'osservazione.

Si sa che i corpi sono *coibenti* o *conduttori* dell'elettrico, e che alcuni sono *buoni* altri *imperfetti conduttori* (§ 1214 e 1371 e seg.). Ma vi ha un'altra distinzione, già altrove accennata (§ 1335), che si riscontra soltanto nell'elettrico della pila, e si è che gl'imperfetti possono essere *conduttori bipolari* od *unipolari*, cioè atti a lasciar transitare egualmente l'elettrico posti in comunicazione con qualunque dei poli della pila o capaci soltanto di manifestare la stessa facoltà per un solo polo dell'apparato voltiano isolato. Erman scoprì tale proprietà, verificata poscia da Brugnatelli, Haüy ecc. Ai conduttori bipolari appartiene l'acqua e tutti i corpi umidi. Gli unipolari sono la fiamma dell'alcoole, il sapone alcalino ben secco ecc., i quali danno bensì passaggio come l'acqua all'elettrico sviluppato dalla macchina a stropicciamento, ma si diportano diversamente in riguardo all'elettrico del piliere voltiano. Si abbia una pila isolata colle due estremità rispettivamente in comunicazione con un elettroscopio; ed una lampada pur isolata. Un filo metallico parte da ciascun polo e s'immerge nella fiamma della lampada senza toccarsi l'uno coll'altro: a malgrado di questa comunicazione gli elettroscopi seguitano a dar segni di tensione. Ora s'immerga nella fiamma un altro filo metallico in comunicazione col suolo, tosto il polo positivo è scaricato, mentre l'elettroscopio all'altro polo aumenta in divergenza. Si sostituisca alla fiamma il sapone alcalino, gli effetti sono i medesimi, eccetto che presenta il fenomeno inverso di quello precedente. Il prisma di sapone colle sue estremità tocca i poli della pila, e gli elettroscopi continuano a divergere; ma se con una verga metallica in comunicazione col suolo si tocca qualche punto intermedio del sapone, all'istante il polo negativo si scarica e la tensione di quello positivo giunge al suo massimo. Siccome la fiamma dell'alcoole è atta a ridurre a zero soltanto il polo positivo, ed il sapone il polo negativo, così per distinguere gli uni dagli altri corpi dotati della stessa facoltà si chiamarono *conduttori unipolari positivi* e *conduttori unipolari negativi*. Questa curiosa proprietà sembra che dipenda da un'azione elettromotrice particolare ai corpi e, in riguardo alla fiamma, dall'elettrico che si svolge nell'azione chimica della combustione (§ 1429).

1417. Avendo sottoposto la pila all'analisi matematica, Ohm è giunto a stabilire le leggi della corrente (1). Egli dimostra che, chiamando con f l'intensità o la forza della corrente, con E la forza elettromotrice delle coppie componenti la pila e con R la resistenza della medesima, si ha $f = \frac{E}{R}$. È questa la legge fondamentale della pila detta eziandio legge di Ohm, la quale si esprime così: *l'intensità della corrente è in ragione diretta della forza elettromotrice ed inversa delle resistenze al passaggio*. Aumentando o diminuendo proporzionalmente le forze elettromotrici e le resistenze del circuito, l'intensità della corrente rimane la medesima, ossia è $f = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R}$. È per questa ragione che producono egual effetto sul galvanometro tanto una pila di parecchie coppie eguali quanto una sola delle medesime, aumentandosi col maggior numero delle coppie la forza elettromotrice in proporzione della resistenza del liquido intermedio a ciascuna di esse.

Le resistenze R si sogliono ridurre ad un filo di determinata lunghezza comunemente di rame, che opponga eguale ostacolo alla corrente elettrica, ed un tal filo costituisce ciò che Ohm chiama *lunghezza ridotta* di quella parte del circuito. Se quindi la somma delle resistenze R eguaglia la resistenza della lunghezza ridotta L del dato filo, l'intensità della corrente risulta espressa anche da $f = \frac{E}{L}$. Si chiami ora e la forza elettromotrice d'una sola coppia, r la resistenza specifica del liquido, d la grossezza dello strato liquido equivalente alla distanza fra l'una e l'altra piastra ed s la sezione della strato medesimo; è chiaro che pel numero n di coppie sarà $f = \frac{ne}{\frac{nrd}{s}} = \frac{es}{rd}$, per essere la resistenza R in ragione diretta della grossezza d dello strato liquido ed inversa della sezione s del medesimo. Dal nuovo valore di f si deduce che *l'intensità della corrente cresce non solo in ragione della forza elettromotrice, ma altresì dell'ampiezza delle piastre* costituenti la grandezza della sezione s del liquido interposto; inoltre che *la stessa intensità è in ragione inversa della resistenza propria del*

(1) L'opera in discorso ha per titolo *Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet*. Berlino 1827. Si veggano gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. IV, pag. 31.

liquido conduttore e della grossezza dello strato del medesimo. Da queste leggi risulta la maggior efficacia delle pile a doppio rame e delle modificazioni fatte alle medesime da Novelucci (§. 1354).

Introduciamo una nuova lunghezza ridotta l, che costituisce il filo congiuntivo o il conduttore interpolare. In questo caso l'intensità della corrente diventa $\frac{E}{L+l}$ e per la pila di n volte le coppie della precedente l'intensità è espressa da $\frac{nE}{nL+l}=\frac{E}{L+l/_n}$. Confrontando quest'ultima colla prima espressione dell'intensità, si apprende che l'aumento del numero delle coppie nella pila produce un accrescimento sensibile d'intensità nella corrente, quando questa deve transitare per un conduttore interpolare la cui lunghezza ridotta l è molto grande in confronto di L, ed insensibile quando l è molto piccolo al paragone di L.

Nelle pile termelettriche la lunghezza ridotta L risulta molto piccola, transitando la corrente per un conduttore metallico senza alternativa di liquido; d'altra parte, atteso la debole tensione di quelle correnti, l riesce d'ordinario molto più grande di L. È appunto per ciò che a loro misura si presta meglio il galvanometro a filo grosso e corto (§. 1392), e che i cattivi conduttori interpolari ne diminuiscono di molto l'intensità (§. 1380).

Servendosi dello stesso elettromotore, s'introducono nel circuito due lunghezze differenti dello stesso filo e si avranno per f due valori differenti $\frac{E}{L+m}$, $\frac{E}{L+m'}$. Siccome, a pari circostanze, l'intensità della corrente segue la ragione della conducibilità; così, chiamando t, t' le conducibilità nei casi precedenti, si avrà $\frac{t'}{t}=\frac{L+m}{L+m'}$, dove si racchiude il metodo di Pouillet annunziato nel precedente paragrafo.

Allorquando la corrente transita per due fili di lunghezze ineguali m, n, essa si divide sui medesimi in ragion inversa delle loro lunghezze. In quanto concerne l'intensità della corrente, si dimostra che i due fili equivalgono ad un solo della lunghezza $\frac{mn}{m+n}$ e dell'eguale grossezza. È secondo questo principio che si valutano le *correnti derivate*. Felici ha studiato all'appoggio delle leggi di Ohm la polarità voltaica e l'influenza del calore sulla conducibilità dei liquidi (1).

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. IV, pag. 65 e 135

1418 **I rapporti d'intensità delle correnti si valutano dai numeri** delle oscillazioni dell'ago calamitato calcolati colla medesima legge delle oscillazioni del pendolo (§ 400), oppure con galvanometri ed strumenti particolari detti in generale *reometri*, di cui ci occupiamo più avanti. Wheatstone invece impiega delle resistenze variabili per ricondurre all'eguaglianza o all'egual deviazione reometrica le correnti nei circuiti posti a confronto, deducendo dal totale della resistenza, introdotta o soppressa per raggiungere l'effetto, i valori delle forze elettromotrici, delle resistenze del circuito, e quindi l'intensità della corrente. Questo metodo non esige veruna cognizione delle forze corrispondenti alle diverse deviazioni dell'ago (1). Diamo una idea dell'apparato del fisico inglese, detto *reostato*, siccome diretto, con correnti di differente intensità, a ricondurre l'ago sempre alla stessa deviazione. L'ordigno, con cui interrompe periodicamente la corrente, è detto dall'autore *reotomo*, e l'altro, col quale alternativamente la rovescia, *reotropo*. Qualunque disposizione che dà nascimento alla corrente dicesi eziandio *elemento reomotore* se è semplice, e *serie reomotrice* se è composta come la pila voltaica, la termelettrica ecc.

1419. Egli ha inventato due reostati, l'uno destinato pei circuiti nei quali la resistenza è considerabile, l'altro per quelli in cui essa si trova debole. Il primo è rappresentato nella fig. 369. In M vedesi un cilindro di legno ed in N altro d'ottone eguale. Sul primo è intagliata una scanalatura spirale, e ad una delle sue estremità è fissato un anelletto di rame, al quale è attaccato il capo di un lungo filo metallico di diametro assai piccolo (¼ di millimetro). Allorquando il filo è avvolto al cilindro di legno, riempie la scanalatura ed è fissato, coll'altro capo, all'estremità opposta del cilindro d'ottone. Mediante due molle, congiunte ai morsetti m, n, l'una premente contro l'anello di rame del cilindro di legno e l'altra contro quello d'ottone, si introduce nel circuito il conduttore dei due cilindri. La manovella g serve a far girare i cilindri sui loro assi. Quando essa è applicata al cilindro N si svolge il filo metallico da quello di legno e si avvolge sull'altro di ottone, e quando si adatta al cilindro M succede all'opposto. Essendo i giri sul cilindro di legno isolati dal pane dell'elica, la corrente elettrica segue l'intera lunghezza del filo; mentre, sul cilindro d'ottone, passa immediatamente dal punto del filo in contatto col cilindro alla molla n. La parte efficace della lunghezza del

(1) I medesimi *Annali*, t. XV, pag. 118 e 250.

filo metallico si riduce dunque alla porzione variabile avvolta sul cilindro di legno. Si fa uso d'un filo assai sottile per introdurre una maggiore resistenza nel circuito. Vi ha una scala fra i due cilindri per misurare il numero dei giri avolti. Per avere le frazioni di giro, è fissato all'asse del cilindro un indice, che percorre le divisioni d'un cerchio graduato

La fig 369, rappresenta la disposizione del circuito preparato per l'esperienza. In B vedesi il galvanometro munito di strumento microscopico per leggere le divisioni, ed in C il comotore, essendosi servito Wheatstone di quello altrove descritto (§ 1358) Il reostato per le deboli resistenze è formato d'un sol cilindro di legno a filo grosso, il quale s'introduce tutto o in parte nel circuito mediante una molla a corsoio.

Per unità di misura si prende un filo di rame di lunghezza e peso dato, e quello di Wheatstone avava la lunghezza d'un piede inglese e 100 grani inglesi di peso, un metro del quale peserebbe grammi 19,30. Si potrebbe stabilire, come unità di resistenza più generale, un filo di rame della lunghezza di 1 metro e del peso di 20 grammi, o di 1 decimetro del peso di 2 grammi. Al reostato stanno uniti altri fili, i quali in più o meno quantità s'introducono nel circuito, quando si richiede una grande resistenza. Essi vedonsi disposti in D e formano i *rocchelli di resistenza*. Il filo avvolto su ciascun rocchello è di piccolissimo diametro (circa $^1/_8$ di millimetro) e coperto di seta. La resistenza del filo di ciascun rocchello si valuta nell'unità di misura per mezzo d'un esperimento Wheatstone ha trovato che i 1600 piedi inglesi del filo sottilissimo di rame avvolto ai suoi rocchelli avevano una resistenza equivalente a 218880 dell'unità stabilita.

1420. Coll'apparecchio descritto Wheatstone ha fatto parecchie determinazioni, di cui diamo alcune delle più importanti. Interessa spesso di conoscere la resistenza del filo metallico del galvanometro, che s'impiega nelle sperienze. A tal fine si prendano due coppie reomotrici esattamente eguali tanto nella forza elettromotrice E quanto nella resistenza R, e se ne introduca una nel circuito (fig. 369), osservando diligentemente la deviazione dell'ago. S'interponga poscia l'altra coppia e si riconduca l'ago allo stesso grado col mezzo del reostato. Chiamando l la lunghezza ridotta della porzione di filo del reostato posta nel circuito, g quella del filo galvanometrico ed r l'altra dei fili di comunicazione, si avranno per la stessa intensità della corrente due valori, i quali danno l'equazione $\frac{E}{R+r+g}=\frac{2E}{2R+r+g+l}$ donde si ricava $g=l-r$.

1421. L'autore, per determinare la somma delle forze elettromotrici d'un circuito voltaico, procede nella seguente maniera. Interpone il reostato e il galvanometro nel circuito; e poscia col mezzo del primo strumento e coll'aiuto ben anche, se è necessario, dei rocchelli di resistenza aggiunge filo sufficiente per condurre l'ago a 45°. Fatto ciò stabilisce la lunghezza del filo che bisogna svolgere dal cilindro di ottone del reostato, per ridurre l'ago a 40°. Il numero dei giri darà la forza elettromotrice richiesta, quando sia stato previamente determinato quello dei giri dell'elemento reomotore preso per termine di confronto. Infatti, essendosi la resistenza del circuito dell'elemento aumentata di r, l'intensità della corrente risulta $\frac{E}{R+r}$, ed affine d'avere eguale intensità nel circuito colla serie reomotrice la resistenza aggiunta deve essere moltiplicata per lo stesso fattore degli altri termini, ossia per avere $\frac{nE}{nR+nr}=\frac{E}{R+r}$. Dove le forze elettromotrici nE, E hanno lo stesso rapporto delle resistenze aggiunte nr, r.

Coppie formate degli stessi metalli e di diverse dimensioni furono con tal processo trovate d'egual forza elettromotrice, la quale non dipende dalla grandezza delle piastre, ed aumenta col numero delle coppie, come era già noto dalle sperienze di Volta e dei fisici posteriori. Parimenti una coppia fatta d'amalgama di zinco, acido solforico allungato e perossido di piombo ed altra coppia fatta di amalgama di potassio invece di quella di zinco, hanno dato delle forze elettromotrici in ragione di 68 : 98 ossia di 34 : 49. Una pila o serie reomotrice di 10 coppie, fatte di amalgama di potassio e di piastra di platino coperta di un lieve strato di perossido di piombo, ha secondo Wheatstone una forza elettromotrice eguale a quella di 33 coppie alla Daniell (§. 1358) o di 50 a doppio rame (§. 1354). Wheatstone altresì ha verificato con questo metodo il principio, già stabilito da Volta, che nel combaciamento di tre o più metalli in ordine della loro forza elettromotrice, la forza dei due estremi è eguale alla somma di quelle dei metalli intermedi accoppiati l'uno coll'altro. Ha trovato altresì che un elemento termelettrico di bismuto-rame alle temperature di zero e 100 gradi nelle congiunzioni ed un elemento voltaico di amalgama di zinco, rame e solfato di rame (§. 1358), hanno le forze elettromotrici nel rapporto di 1 : 94,6. Aggiungiamo ai risultati dell'autore questi altri rapporti della forza di reomotori differenti (1).

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati. 2ª serie, t. 1, pag. 240

100 coppie di Smee (§. 1361) equivalgono a 55 di Daniell od a 34 di Grove (§. 1359).

1422. La resistenza o lunghezza ridotta d'un reomotore è determinata dall'autore con cinque diversi procedimenti, di cui faremo conoscere il seguente. Siano E la forza elettromotrice, g la resistenza del filo galvanometrico, ed R tutte le altre resistenze del circuito. L'intensità della corrente sarà $f = \frac{E}{R+g}$ Si devii per metà la corrente dal galvanometro con un filo di resistenza eguale a quello dello strumento, e l'espressione del denominatore del valore di f diventa $R+{}^1/_2 g$. In causa della derivazione o suddivisione della corrente, non vi ha che metà della forza E che agisce sull'ago, per cui la sua intensità sul medesimo sarà espressa da $\frac{{}^1/_2 E}{R+{}^1/_2 g}$. Per rendere questa espressione equivalente alla prima, bisogna ridurre alla metà la resistenza R e quindi levare dal circuito tanto filo l del reostato, che sia $\frac{R}{2}=l$, onde si abbia $\frac{{}^1/_2 E}{R+{}^1/_2 g-l}=\frac{E}{R+g}$. Essendo l conosciuto col reostato, per ricondurre l'ago del galvanometro sulla stessa divisione a malgrado della derivazione di metà della corrente, si ha $R=2l$. Una volta che siasi determinata la resistenza R di un reomotore, sarà facile ottenere la R′ di qualunque altro della stessa specie sottoponendolo successivamente nel circuito e cercando la lunghezza r di filo che bisogna aggiungere o levare per ricondurre l'ago sullo stesso grado, essendo $R' = R \mp r$.

L'autore fa conoscere la maniera di misurare col suo apparato la conducibilità relativa dei liquidi, la forza prodotta dalla polarizzazione degli elettrodi, ed altre quantità risguardanti le correnti elettriche. Coll'apparato di Wheatstone si può riconoscere il fenomeno già noto da molto tempo, quale si è la diminuzione della corrente in causa di diaframmi metallici, che dividono il liquido conduttore, per dove transita. Una tale diminuzione sembra dipendere in parte dalla polarizzazione, che acquistano i diaframmi, come nelle pile secondarie (§. 1377).

SEZIONE III

Degli effetti dell'elettrico.

1423. Gli effetti dell'elettrico si riducono a quattro classi distinte, come altrove si è accennato (§. 1218), cioè 1° *meccanici*, 2° *fisici*, 3° *chimici*, 4° *fisiologici*. Essi offrono un campo così vasto e così va-

e rimosso quando è disposto col filo verticale, e lanciato a distanza e la piramide A rovesciata quando è orizzontale.

1425. Scaricando una boccia od una batteria di Leida attraverso un liquido, la scintilla splende e brilla come nell'aria e il liquido oscilla e se è in poca quantità viene sparpagliato, diviso e lanciato a distanza. Beccaria pose una goccia d'acqua fra le punte smussate di due fili di ferro, pei quali fece passare la scarica della boccia di Leida: l'acqua fu dissipata e divisa su tutta la parete interna del globo di vetro, dove si trovava racchiusa (1). Beccaria introdusse altresì dei fili di ferro in tubi di vetro, riempiuti interamente d'acqua, che racchiudeva con tappi. I fili erano disposti colle loro estremità a poca distanza, e scaricando per essi una boccia di Leida, la scintilla balenava nel luogo d'interruzione, l'acqua veniva rimossa e i tubi spesso rotti in frammenti e lanciati a grande distanza (Opera citata, pag. 114). Colla carica d'una batteria di Leida di poco più di 29 decimetri quadrati (400 poll. quadr.) d'armatura, lo stesso Beccaria ruppe un tubo di vetro, le cui pareti avevano la grossezza di millim. 4,5 (linee 2) ed i cui frammenti furono lanciati alla distanza di metri 6,5. Talvolta i tubi, avevano le pareti di 18 in 20 millimetri, ed i frammenti vennero lanciati a distanze maggiori (Opera citata, pag. 74). Con grandi batterie di Leida caricate per mezzo di poderose machine elettriche, si possono ottenere degli effetti meccanici consimili molto più grandi, e vi ha chi ha rotto dei tubi di metallo. In questo caso i fili, che entrano nell'acqua, devono essere ben isolati dalle pareti del tubo.

Nella scuola queste esperienze s'istituiscono coll'apparato conosciuto sotto il nome di *mortaio elettrico* (fig. 371). Esso è fatto interamente d'avorio ed attraversato da fili metallici posti nell'interno a poca distanza. L'acqua fra i due fili si pone con un pennello, dopo di cui si chiude il mortaio colla palla d'avorio. A l'atto della scarica della boccia di Leida, la palla è lanciata a più o meno distanza secondo la forza della scarica. Io soglio, invece dell'acqua, impiegare un poco d'olio d'ulive, col quale riesce meglio l'effetto.

S'ottiene la rimozione dell'aria colla scarica elettrica mediante l'apparato della fig. 372, formato d'un recipiente cilindrico di vetro contenente un liquido colorato, che si mette a livello nel tubo laterale. Si fa passare la scarica dalla boccia di Leida per le verghe metalliche, la scintilla balena nell'intervallo da cui sono internamente separate,

(1) *Elettricismo artificiale e naturale ecc.*, pag. 117

l'aria viene rimossa ed innalza la colonnetta liquida nel tubo laterale come nel termometro, ed è perciò che l'apparato è detto *termometro di Beccaria o di Kinnersley*. Le attrazioni e repulsioni, di cui si è parlato (n° 1244), sono altrettanti effetti meccanici dell'elettrico.

1426. L'elettrico è capace ancora di farsi strada a traverso cartoni più o meno grossi ed al vetro, traforandoli nel suo passaggio. Nell'apparato *buca-carte* (fig. 374) si interpone alle due punte smussate una o più carte da giuoco o d'altro cartone, e si dirige la scarica sulla palla della verga superiore, mentre l'inferiore è in comunicazione coll'armatura esterna della boccia o batteria di Leida. Pel passaggio dell'elettrico si scorge nella carta un foro somigliante a quello fatto con uno spilletto. Intorno all'orlo del foro si ravvisano da ambidue i lati dei filamenti rilevati o delle bave, che sembrano indizio d'essersi l'elettrico mosso dall'interno della carta. Ho sempre però trovato che le bave sono più distinte dal lato, per dove esce la corrente elettrica. Questo fatto sembra confermare che l'elettrico, nel mettersi in equilibrio, non prende un moto di translazione, ma bensì vibratorio. Potrebbe anche il torrente elettrico, internandosi nella carta, dilatarne l'aria o sparpagliarne le molecole, in modo da lanciarle all'intorno, come la goccia nella sperienza precedente dell'acqua, e produrre un laceramento che, estendendosi all'intorno, fosse causa delle bave da ambidue i lati della carta. Quando le punte non sono poste l'una dirimpetto all'altra, il foro non si fa ad eguale distanza dalle medesime. Alla pressione ordinaria dell'atmosfera, il foro succede più vicino alla punta per cui entra la corrente, e nell'aria rarefatta va accostandosi al punto di mezzo che separa i due conduttori, talchè alla pressione di millimetri 140 è presso che sulla metà. Il fenomeno è stato osservato la prima volta da Tremery, e sembra che la maggior densità dell'aria obblighi il torrente elettrico ad attraversare tosto la carta per mettersi in equilibrio, mentre, sotto minore densità, trova nel propagarsi minor resistenza nell'aria, che nella carta per dove lanciarsi sull'altro conduttore.

Al bottone della boccia di Leida si attacca con cera un pezzetto di foglio di stagno in modo che stia sollevata e non tocchi la superficie del bottone, e si provoca la scarica dal punto di mezzo della foglia di stagno, la quale è bucata dal torrente elettrico e presenta un'apertura come se fosse stata traforata con una punta smussata di grosso filo metallico.

1427. Per forare il vetro serve l'altro apparato della fig. 374 chiamato *buca-vetro*. Nel mezzo vi è assicurato una specie di bicchiere ò

nel cui asse sorge una verga acuminata di metallo, che si mette in comunicazione coll'armatura esterna della batteria di Leida. La lastra di vetro da essere bucata si colloca in o sull'orlo del bicchiere e tocca la punta della verghetta interna. Sulla superficie superiore della lastra di vetro si versa una goccia d'olio d'ulive, nella quale s'introduce la punta della verghetta v a contatto colla lastra. In tal modo le punte delle verghette stanno a rincontro l'una dell'altra coll'intermedio della lastra di vetro Scaricando la batteria di Leida ed anche una sola boccia sulla palla della verghetta v, il torrente elettrico passa alla verghetta sottoposta traforando il vetro La goccia d'olio, che circonda la punta superiore, è diretta per la sua coibenza a tener riunito il torrente elettrico per slanciarsi a traverso il vetro sulla punta inferiore. Si è in tal modo che ho traforato lastre di vetro della grossezza di 1, di 2, ed anche più millimetri di grossezza Si soffi una bolla di vetro e se ne vesta colla metà la palla dello scaricatore, accostandola al bottone d'una grande boccia o della batteria di Leida, balena la scintilla, per la quale il vetro è traforato. Se il ramo del conduttore termina in punta il foro è molto piccolo, e se tra l'emisfero di vetro e la palla dello scaricatore s'introduce dell'acqua o del mercurio il foro prende anche la larghezza di 2 millimetri (Beccaria, opera citata, pag 142).

Si riempisca d'olio d'ulive una piccola ampolla e la si chiuda con tappo, a traverso cui passa un filo metallico ripiegato internamente in modo che colla sua estremità acuminata ne tocchi la parete Sospesa l'ampolla al conduttore della machina elettrica, si presenti l'eccitatore esternamente a l'ampolla nel sito, cui corrisponde la punta, e si ha spesso la scintilla che trafora il vetro Nelle scariche di grandi batterie di Leida, l'elettrico talvolta trascorre su lastre di vetro lasciando dietro di se una solcatura somigliante a quella che si farebbe col diamante Questa solcatura è prodotta dal sollevamento di esilissime scaglie, per le quali il vetro perde la sua levigatezza ed il suo lustro.

1428. L'elettrico accelera il flusso dei liquidi dai vasi Nella scuola si istituisce l'esperimento coll'*apparato dello zampillo elettrico*, consistente in piccolo vaso d'ottone, il quale è munito al fondo di tre in quattro tubi capillari dello stesso metallo, ed ha il coperchio congiunto a vite con gancio nel centro con cui si appende al conduttore della machina elettrica. L'acqua in esso versata sgocciola lentamente pei tubi; ma tosto che si fa girare il disco della machina, il liquido col vaso si elettrizzano e lo sgocciolamento si accelera e si trasforma

in flusso continuo. I getti, come egualmente elettrizzati, si repellono e diventano divergenti.

Due bicchieri eguali di vetro, pieni d'acqua, ben asciutti e verniciati verso l'orlo, si espongono nello stesso luogo all'aria; si trova dopo un certo tempo che da quello, in cui l'acqua era stata elettrizzata, si evapora maggior quantità di liquido che dall'altro non elettrizzato. Dirigendo delle scariche elettriche sopra una spugna od altro corpo imbevuto d'alcoole, si accelera l'evaporazione del liquido.

1429. Sopra una lamina d'argento polito in comunicazione coll'eccitatore si riceve ripetutamente la scarica d'una boccia di Leida a bottone d'ottone: una macchia giallognola comparisce sulla superficie dell'argento se la boccia è caricata positivamente, ed una macchia bianca si scorge sul bottone se la carica è negativa. Questo ed altri fenomeni ottenuti da Fusinieri (1), mentre favoriscono il sistema di un sol fluido, provano il trasporto di materia ponderabile nella direzione del torrente elettrico. Quando parleremo della fusione e combustione prodotte dall'elettrico ritorneremo su questi fenomeni, intanto facciamo conoscere come il trasporto semplice di materia ponderabile si ottenga anche colla corrente continua del piliere voltaico.

Si prenda un recipiente di porcellana, di vetro o di legno verniciato internamente, si divida in due compartimenti con membrana animale, come quella di vescica, e i due compartimenti si empiscano all'egual altezza d'acqua salata o d'altra soluzione. Essendo le cose così disposte, s'immerga un reoforo della pila di alcune coppie nel liquido d'un compartimento e l'altro reoforo in quello del compartimento opposto. La corrente passa pel liquido, e dopo un certo tempo più o meno lungo secondo l'energia della pila, il livello si cambia innalzandosi nel compartimento dove sbocca la corrente elettrica ed abbassandosi in quello per cui entra. Questa sperienza istituita dall'inglese Porrett sin dal 1816, è pure favorevole al sistema d'un sol fluido, e mentre il liquido viene trasportato dall'una all'altra parte del vaso ha luogo un fenomeno chimico, di cui ci occupiamo più avanti. Si può dare all'esperimento una disposizione più facile: si prende un largo tubo di vetro chiuso all'estremità colla membrana, si immerge verticalmente nella soluzione contenuta in altro vaso riempiendolo all'egual livello dello stesso liquido. Immergendo i reofori della pila rispettivamente nei liquidi dei due recipienti, si ha

(1) *Giornale di fisica, chimica ecc. di Brugnatelli*, del 1825, pag. 450.

innalzamento od abbassamento di livello nel tubo secondo che la corrente elettrica entra nel medesimo per ritornare nella pila o sbocca nella soluzione contenuta nel vaso.

1430. Si abbia un tubo di vetro piegato alla foggia di U pieno in parte di mercurio, e si versi da una parte dell'acqua salata. Disposto ciò, si immerga il reoforo positivo di una pila nell'acqua salsa e si sprofondi in essa sino a toccare il mercurio cui essa sopranuota, e quello negativo nel mercurio dall'altro lato. Tosto fatte le comunicazioni, la corrente transita pel mercurio e trasporta con se la soluzione salina, radunandola dal lato opposto. Essendo questo effetto dovuto principalmente alla tensione, è mestieri adoperare una pila almeno di 100 coppie e con piastre di 5 in 7 centimetri quadrati di superficie attiva. Il tubo può avere il diametro di 5 in 6 millimetri e il mercurio l'altezza di 20, mentre l'acqua salata si eleva di 25 millimetri. Vedremo altri fenomeni somiglianti parlando degli effetti chimici prodotti dalla corrente elettrica.

1431. La superficie del mercurio posto in un vaso si copra d'uno strato di liquido conduttore, per es. acido solforico, e si compia il circuito d'un elettromotore fatto di 8 in 10 coppie mediante l'acido stesso senza che l'estremità dei fili polari tocchino il mercurio. Tosto che la corrente è stabilita, il mercurio concepisce delle oscillazioni e dei movimenti particolari, che variano secondo la natura del liquido conduttore sovrapposto, secondo la purezza e la quantità di mercurio impiegato e secondo l'adesione di questo liquido colla materia del vaso. L'acido solforico e la soluzione di solfato di soda sono i liquidi che meglio si prestano per l'ottenimento di quei fenomeni, operando sul mercurio puro contenuto in vaso di vetro, per cui serve anche una pila di minor numero di coppie. Simili effetti furono osservati da Erman, da Serrulas, da Davy, da Orioli e da Prandi, e particolarmente studiati da Herschel (1) e da Nobili (2), ed avvengono eziandio con diverse amalgame.

Questi movimenti sembrano prodotti dall'azione di esilissime particelle risultanti dalla decomposizione del liquido soprannotante al mercurio e trasportate dalla corrente elettrica ai poli dei pilieri. Quando il liquido metallico si copre di veli finissimi composti da quelle particelle, esso perde la sua trascorrevolezza e quei movimenti cessano.

(1) *Annales de chimie et de physique*, 1825, t. xxviii, pag. 280.
(2) *Memorie ed osservazioni raccolte*, t. i, pag. 39-49

1432. L'elettrico sotto date circostanze produce della luce, del calore, del magnetismo e dei suoni, come pure la fusione, la volatilizzazione e la combustione della materia, che costituiscono altrettanti effetti fisici. Del magnetismo e dei suoni parleremo nel seguente capitolo; intanto occupiamoci degli altri fenomeni.

Le proprietà luminose dell'elettrico si facevano dipendere dalla compressione operata sull'aria donde veniva spremuta la luce supposta latente. Questa maniera d'interpretare il fenomeno richiedeva che si dimostrasse: 1° che il torrente elettrico, nell'attraversare l'aria, la comprimesse; 2° che l'aria compressa emettesse della luce. Il primo fatto è dimostrato coll'esperienza col termometro elettrico di Beccaria o di Kinnersley (§ 1427). Si credeva avere la prova del secondo fatto coll'acciarino pneumatico; ma si è dimostrato che la luce, sviluppata nella compressione dell'aria mediante quell'apparato, è dovuta alla combustione, e quando si prendono le disposizioni per evitare la combustione non comparisce mai luce dall'aria compressa (§ 1147). Non verificandosi il secondo fatto non si può per conseguenza più ammettere quell'opinione. Donde ha dunque origine la luce elettrica? Tale è la domanda cui procureremo di rispondere colla scorta dell'osservazione e dell'esperienza.

1433. Rammentiamo che l'aria per la sua coibenza impedisce all'elettrico, accumulato sopra un conduttore, di rimettersi in equilibrio nel suolo (§ 1291). Quest'ostacolo diminuisce colla rarefazione dell'aria, e si ... che l'elettrico passi per essa da molecola a molecola, per cui il vuoto perfetto riuscirebbe coibente (§ 1357). Ciò premesso, osserveremo che l'elettrico in quiete non manifesta veruna luce e riesce invisibile eziandio nella più perfetta oscurità, dandone segni soltanto quando trascorre sui corpi più o meno conduttori, pei quali è obbligato a transitare. La prima condizione dunque per avere la luce elettrica è *la rottura d'equilibrio* di quel fluido onde mettersi in movimento. Nasce quindi la questione di sapere se l'elettrico concepisca un movimento di transizione e ... stesso fluido che va dall'uno all'altro capo dei corpi su cui transita, oppure si propaghi per ondulazione come la luce. Pare che la propagazione succeda in quest'ultimo modo ... che ... rottura di equilibrio in un intervallo estremamente piccolo, e ... *rottura d'equilibrio ... colore*, giacchè altrimenti non potrebbe diffondersi con una velocità così enorme (§ 1379).

Quantunque la rottura d'equilibrio sia sempre necessaria, tuttavolta da sola non è sufficiente alla produzione della luce elettrica, richie-

dendosi che la carica o la quantità di fluido in moto sia considerabile relativamente alla facoltà del conduttore. Infatti il fluido accumulato colla machina elettrica si trasfonde nel suolo per un filo metallico senza dare verun segno di luce, mentre, quando la carica è grande e la propagazione si fa per un conduttore imperfetto, come sarebbe un cilindro di legno abbrustolito senza essere perfettamente carbonizzato, l'elettrico manifesta luce sensibile nell'oscurità. D'altronde Van-Marum ha osservato che diventava luminoso un filo di ferro della lunghezza di 16 metri, col quale scaricava la potentissima machina d'Harlem. Si scorge quindi che, quando gli atomi della materia ponderabile non hanno capacità proporzionale alla dose d'elettrico che devono trasmettere, questo fluido spande della luce dovendo la porzione eccedente farsi strada per l'aria con una serie di scintille fra gli atomi della medesima in intervalli più o meno grandi secondo il grado di densità. Da ciò si deduce che la seconda condizione è *l'interruzione di continuità* nel conduttore, pel quale transita l'elettrico. Dunque la luce elettrica dipende dal grado di conducibilità del corpo, pel quale deve passare, in rapporto alla quantità d'elettrico in movimento.

Una quantità d'elettrico ben anche tenue, purchè sia capace di farsi strada attraverso all'aria, che è coibente, avrà sempre per conseguenza un effetto luminoso. Appunto in ciò consiste il fenomeno della scintilla ordinaria. La luce elettrica sembra quindi dipendere da moto vibratorio dell'etere nel propagarsi per corpi cattivi conduttori e non capaci di trasmetterlo senza ostacolo. Abbiamo già veduto come la scintilla non cammini sempre in linea retta transitando per l'aria da l'uno all'altro conduttore (§ 1294), da qual parte abbia essa origine (§ 1295), e in qual modo nasca il rumore da cui è accompagnata (§ 1295).

1434. La luce elettrica delle scintille cangia di colore al cangiare la densità dell'aria: alla densità ordinaria essa è *bianca*; ai primi gradi di rarefazione prende la tinta *turchiniccia* e nel vuoto meglio fatto diventa *porporina*. Allorquando l'aria è rarefatta e la luce è turchiniccia, si accosta al bianco aumentando la carica coll'aggiunta d'una o più bocce di Leida. Queste gradazioni di luce della scintilla, nell'aria a diverse densità, si ottengono coll'apparecchio altrove descritto (§. 1337) e rappresentato nella fig. 373. Il globo di vetro si unisce al tubo della machina pneumatica, per rarefare in esso più o meno l'aria e farlo poscia servire alle scariche. Il torrente elettrico è ricevuto sopra una delle verghette metalliche, ed entra nell'aria con-

tenuta nel recipiente di vetro, si diffonde e si allarga più o meno e con diverso colore secondo il grado di rarefazione dell'aria medesima. Il fenomeno della luce elettrica si osserva nell'oscurità, nella quale l'apparato offre, così illuminato, l'apparenza dell'interno dell'uovo, e perciò ha preso il nome di *uovo filosofico*. Levando interamente l'aria dal globo di vetro ed introducendovi un altro gas, si ha la scintilla nelle diverse specie di fluidi aeriformi a differenti densità. La luce elettrica è bianca e vivace nel gas acido carbonico, rossa e debole nel gas idrogeno, il che è analogo a quanto presenta l'aria densa e rarefatta; inoltre è verde nel vapore dell'etere. Davy, coll'apparato altrove descritto (§. 1337), ha trovato che, nei vapori di mercurio, l'elettrico apparisce luminoso tanto colla scintilla tratta dalla machina ordinaria quanto da quella della boccia di Leida (1). Allorquando il tubo è assai caldo, la scintilla comparisce nel vapore mercuriale con un bel color verde. Al freddo artificiale di 20° Fahrenheit sotto lo zero (quasi —29° centesimali), la luce riesce eccessivamente debole e visibile soltanto nella più grande oscurità. Durante l'ebollizione del mercurio la scintilla prende il più grande splendore. Introducendo nel vuoto torricelliano diverse quantità d'aria, il colore passa successivamente dal verde ordinario al verde di mare, all'azzurro, al colore di porpora. Nel vuoto torricelliano fatto con lega in fusione di bismuto e stagno, la luce è giallognola e pallida.

Il colore della scintilla dipende eziandio dalla natura del corpo solido da cui si trae: i legni e l'avorio la danno di colore cremesino, il cuoio inargentato verde brillante, il rame verdognola, lo zinco azzurrognola, il ferro irrugginito rossiccia, l'uovo caldo giallognola. Ne conseguita dunque che la luce elettrica non solo varia secondo la densità e la natura dei fluidi, pei quali transita, ma altresì secondo le qualità dei corpi solidi da cui esce il torrente. Sembra quindi che l'elettrico porti con sè in istato d'incandescenza delle estreme particelle della materia di cui parte e per cui transita, le quali provano delle modificazioni in virtù del calorico sviluppato, e danno luogo a diverse tinte luminose. Il trasporto di materia ponderabile allo stato d'incandescenza e di combustione è dimostrato da parecchi fatti che quanto prima vedremo.

1458. Da quanto si è dichiarato si deduce che, per moltiplicare ed estendere la luce prodotta dall'elettrico in movimento, bisogna aumentare le interruzioni di continuità del conduttore. Su questo prin-

(1) *Annales de chimie et de physique*, seconde série, t. 25, pag. 168.

cipio sono fondate tutte le sperienze che si istituiscono nella scuola per dimostrare i fenomeni luminosi dall'elettrico. Le *catene* e le *ghirlande elettriche* si formano di cordoncini di seta, nei quali sono infilati granelli di metallo o di altra materia conduttrice posti a piccola distanza fra loro. Una scarica, provocata dal conduttore della machina elettrica, passa da un capo all'altro sui granelli metallici e balena ad ogni interruzione la scintilla, che rende apparentemente luminoso tutto il cammino, pel quale ha transitato il torrente elettrico. Per mostrare che la luce si succede in ogni intervallo dei granelli conduttori e che la striscia luminosa non è continua, può servire lo stesso principio impiegato per la misura della prodigiosa velocità dell'elettrico (§. 1339). Un disco dipinto si fa ruotare con grande velocità mediante un ordigno somigliante a quello dei dischi ottici (§. 895). Al momento della maggior rotazione si fa transitare sulla catena la scarica elettrica, e per quanto si osservi attentamente a quella luce, il disco comparisce immobile, mentre alla luce continuata l'occhio si accorge della rotazione. Si è con tale artificio che in parecchi altri casi si riconosce che l'apparenza luminosa, manifestata sopra una grande estensione, non è prodotta da corrente continua, ma da una serie di scintille che si succedono ad intervalli estremamente piccoli.

Sul medesimo principio sono costrutti il *tubo* e la *lamina* o il *quadro scintillanti*. Consistono d'ordinario in piccoli rombi di stagnuola (fig. 376) incollati sopra lastre di vetro piane od incurvate e posti coi loro angoli a brevi intervalli, fra i quali balena la scintilla. Nel *tubo scintillante* i rombi metallici s'incollano all'intorno della superficie interna del tubo di vetro, e il torrente elettrico entra da un'estremità ed esce per l'altra, rendendo luminosi tutti gli intervalli fra i rombi (fig. 377). La *lastra* o il *quadro scintillante* sono apparati somiglianti al *quadro del fulmine* (§. 1308). La loro superficie superiore è coperta di figure o di disegni differenti fatti coi rombi di stagnuola, oppure con listerelle della stessa materia interrotte ad intervalli per mettere a nudo il vetro nei luoghi dove deve apparire la scintilla.

1456. I fenomeni luminosi riescono tanto più brillanti quanto più è grande la tensione. Le cariche a grandi tensioni non solo si ottengono secondo la grandezza e la qualità dei corpi che compongono le machine elettriche, ma eziandio secondo la loro disposizione. Il gabinetto di fisica di questa R. Università ha acquistato recentemente una machina elettrica, colla quale si ottengono delle brillanti scintille di lunghezza pari a quelle delle machine di dimensioni molto

maggiori. La fig. 378 rappresenta la nuova macchina di Winter (1), la quale, con un disco di circa mezzo metro di diametro, dà delle scintille della lunghezza di 18 sino a quasi 24 centimetri, vale a dire pari a quelle delle grandi macchine comuni (§ 1293). L'asse di rotazione *r*, come pure le colonnette *a*, *b*, *c*, *d* sono di vetro. Le due colonnette *a* sostengono l'asse del disco, le altre *c* i cuscinetti, *b* il conduttore e *d* lo scaricatore.

Il conduttore A unitamente alle palle *h*, *g* sono di lamina d'ottone. Per rendere minima la dispersione dell'elettrico per la colonnetta *b*, il conduttore A è fornito della disposizione rappresentata in sezione nella fig. 379, già applicata con felice successo da Van-Marum alla grande macchina elettrica di Harlem. Il conduttore porta i due anelli *i* (fig. 378 e 379), fra i quali si muove il disco. Questi anelli sono fatti di legno ben liscio e, nella parte rivolta verso il disco, coperti di stagnuola, la quale si estende sino al conduttore A e porta le punte per assorbire l'elettrico sviluppato sul disco. Sulla palla *h* è piantata un'asta cilindrica di legno del diametro di centimetri 2,5 e dell'altezza di poco più di 20 centimetri, la quale porta un anello di legno di circa centim. 65 di diametro e di grossezza eguale a quella dell'asta. Tanto l'uno che l'altro sono rivestiti di fogli di stagno. Lo eccitatore B è posto in comunicazione col cilindro conduttore, congiunto ai cuscinetti, mediante la fune metallica [illegible] ravvolta in benda di seta. I cuscinetti sono tenuti aderenti al disco mediante molle d'acciaio, ed hanno la pelle spalmata dell'amalgama stropicciatrice, che comunica col cilindro conduttore mediante aste di stagnuola. Ai cuscinetti è assicurata una copertura di taffetà gommato, la quale difende dal contatto dell'aria la porzione di disco, che viene stropicciata sino a che sia giunto in presenza delle punte degli anelli dirette ad assorbire l'elettrico.

A che serve il grande anello [illegible] piantato sulle due palle del conduttore della macchina? Il suo ufficio è diretto ad accrescere la tensione sulla palla A per avere la scintilla a grande distanza. Infatti sappiamo che l'elettrico su due globi [illegible] in ragione inversa dei loro diametri (§ 1262), perciò, avendosi nell'anello una zona circolare in comunicazione col globo A, su questo e su quella l'elettrico prenderà delle tensioni in ragione inversa dei loro rispettivi diametri. Ecco la ragione per cui l'aggiunta dell'anello aumenta

(1) *Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik*, ossia Ragguaglio sui più recenti progressi della fisica, di Müller. Brunswick 1849, t. I, pag. 16

la distanza cui balena la scintilla. Ma il balenamento della scintilla a grande distanza si deve attribuire in gran parte allo stato negativo, cui si pone l'eccitatore B. Allorquando si volesse ottenere una grande carica senza grande tensione, si fa uso dei principii stabiliti da Volta prendendo dei conduttori molto lunghi e di piccolo diametro (§.1264).

1437. Per la grande tensione sulle punte e sulle parti acuminate dei corpi l'elettrico vince la coibenza dell'aria (§. 1265), e si mette in movimento transitando da molecola a molecola, da atomo ad atomo di quel corpo cattivo conduttore. Si ha dunque rottura d'equilibrio ed interruzione di continuità del torrente nel transitare per l'aria, e si verificano così le due condizioni per ottenere le apparenze luminose altrove osservate (§. 1224). La luce elettrica sulle punte è agitata ed accompagnata da un sussurro prodotto dalla moltitudine delle scintille, che hanno luogo fra gli atomi dell'aria. Il fiocco e la stelletta, secondo che la carica è positiva o negativa, appariscono meglio sulle punte non molto aguzze e riescono tanto più distinti quanto più è grande la tensione della carica stessa e quanto più l'elettrico trova un cammino facile per disperdersi nel suolo. È per ciò che, presentando alle punte dei piani deferenti in comunicazione colla terra, le apparenze luminose divengono più sviluppate e più brillanti.

1438. I corpi deferenti, disseminati di punte alla loro superficie, offrono nell'oscurità una specie di fosforescenza durante il tempo che sono elettrizzati. Affinchè succeda il fenomeno, i corpi devono essere poco conduttori, e tanto meno quanto la macchina è dotata di minore energia. Le treccie di paglia presentano appunto il fenomeno colle macchine elettriche comuni; con un tubo metallico disseminato di punte si richiederebbe una grande produzione d'elettrico in poco tempo, come si ottiene dalla macchina di Harlem (§. 1220), riescendo insufficiente quella sudescritta.

La fosforescenza sembra che sia nei differenti casi un fenomeno elettrico. Essa si ottiene in cinque maniere: 1° coll'elevazione di temperatura, 2° coll'insolazione, 3° collo sfregamento o colla percussione, 4° coll'elettrico, 5° infine vi ha la fosforescenza spontanea. Che possa il fenomeno dipendere dall'elettricità, si argomenta dall'osservare che i corpi buoni conduttori dell'elettrico non sono fosforescenti; d'altronde sappiamo che nel riscaldamento prodotto dall'azione diretta del calorico o dei raggi solari oppure da quella dello sfregamento (§. 1149) o della percossa (§. 1148), si sviluppa dell'elettrico (§. 1324), come pure si sviluppa nell'azione chimica (§. 1328).

per cui in ogni caso si ha la causa eccitatrice dell'elettricità. Si è già parlato di alcuni fenomeni fosforescenti (§. 882); e in quanto a quelli che manifestano i legni fracidi ed altre materie in putrefazione, e certi animali viventi come le lucciole, si sa che in questi casi vi ha azione chimica. Qui dobbiamo far conoscere la fosforescenza prodotta dall'azione diretta dell'elettricità.

Nelle sperienze di fosforescenza elettrica i corpi si collocano sulla tavoletta dello scaricatore universale (§. 1250), le cui verghette si dispongono a qualche centimetro di distanza dalle estremità dei medesimi. Scaricando sul corpo una batteria di Leida si scorge, dopo l'esplosione, lungo il tragitto percorso dall'elettrico un tratto luminoso, che dura alcuni istanti secondo la natura del corpo. Operando sopra un pezzo di creta, il tratto luminoso offre delle tinte cangianti; sopra un frammento di barite solfata o d'acetato di potassa secco si ha una luce verde brillante. Collo zucchero e l'acido succinico si ottengono effetti somiglianti, ma più durevoli. I gusci d'ostrica calcinati danno i colori prismatici. I corpi in polvere si mettono in tubo di vetro, e i suddetti polverizzati danno effetti molto minori, ma il fenomeno riesce di maggior durata e più brillante quando essi sono calcinati con solfo. Il cristallo di rocca emette una luce rossa che tende in seguito al bianco. Alcune materie, che hanno perduto la loro fosforescenza (§. 881), la riacquistano trattate nella stessa maniera con iscariche elettriche. Beccaria sparse della polvere di rame sopra due lamine di cera, che congiunse l'una contro l'altra. La polvere metallica comunicava alle due estremità con foglie di stagno, per le quali si faceva la scarica elettrica. Al momento del passaggio del torrente elettrico per la cera, questa venne resa interamente luminosa (1). Altri dopo il fisico italiano hanno illuminato la massa di alcuni corpi mediante scariche elettriche.

1439. Sopra alcuni corpi poco conduttori la luce si manifesta all'istante stesso che sono percorsi dall'elettrico. Si prenda una melarancia matura e la si disponga sullo scaricatore universale a contatto colle due verghette metalliche. Il torrente elettrico provocato dalla batteria di Leida rende luminosa tutta la superficie della melarancia. La tensione della carica deve essere abbastanza forte per conseguire l'effetto, ma non tale che l'elettrico attraversi l'interno di quel frutto. Il fenomeno si ottiene più volte di seguito colla stessa melarancia. Facendo trascorrere il torrente elettrico sulla superficie dell'acqua o

(1) *Elettricismo atmosferico*, lettere di Beccaria. Bologna 1758, pag. 257.

dell'alcoole, sopra un pezzo di carne cruda si ottiene pure una striscia luminosa consimile. Con penna intinta d'acqua si segni sopra una lastra di vetro una linea della lunghezza di 15 centimetri, che si rende luminosa colla scarica d'una boccia di Leida. Servendosi per la scarica di tavolette di legno prima bagnate e poscia asciugate, si ottiene pure sulle medesime la luce elettrica e dopo un certo numero di prove non si ha però più verun effetto. In tutti questi sperimenti come in altri consimili la luce elettrica sembra prodotta da innumerevoli scintille prodotte fra gli atomi dei vapori, che si generano da quelle materie. I lampi o striscie di luce che compariscono sul disco della machina elettrica gettandosi verso l'asse metallico di rotazione ed i cuscinetti sono fenomeni della stessa specie.

Isolando una punta metallica disposta verso il [illegible] sotto di essa un pezzetto di fosforo, questa materia [illegible] (§ 1179), e l'acido formatosi nella combustione sotto forma di [illegible] vaporoso s'innalza nell'atmosfera. Si elettrizza ora la verga metallica, che si vedrà nell'oscurità quel vapore molto più luminoso diretto invece verso il basso sotto forma di razzo.

1440. Si è dimostrato che l'aria, a misura viene rarefatta, diventa meno coibente (§ 1434), e quindi l'elettrico sotto deboli tensioni può moversi per essa da molecola a molecola e produrre i fenomeni luminosi. È all'appoggio di questo principio che nelle scuole si istituiscono alcune sperienze, fra le quali quella coll'apparato detto *tubo per le colonne di fuoco*. Il tubo è di vetro chiuso alle estremità con dischi d'ottone a viera muniti internamente di verga dello stesso metallo. Una di queste verghette è forata lungo l'asse con chiave o *robinetto*. Nel tubo si rarefà l'aria e poscia si presenta per una estremità al conduttore della machina elettrica, mentre per l'altra si tiene in comunicazione col suolo. La scintilla batterà sopra una delle viere, ed apparisce nell'aria rarefatta sotto l'aspetto di lunghe colonne di fuoco, che si ripetono a piacimento.

Gli sperimenti si variano prendendo, invece del tubo, l'altro *apparato pei getti di fuoco*, formato d'una campana di cristallo tubulata superiormente e chiusa da viera con verga cilindrica, che s'interna nella capacità. Sul piatto della machina pneumatica è disposta un'altra verghetta in comunicazione col suolo e distante dalla prima 5 in 6 centimetri. Alle estremità delle verghette si uniscono a vite ora un globetto d'ottone, ora un piattello, ora un anello, ora una stelletta ed altri corpi d'ottone di diverse forme. Si rarefà l'aria nella campana e si scarica la machina elettrica sulla verghetta superiore: si hanno

con ciò getti luminosi differenti, che talvolta somigliano a fontane di fuoco. Se si levi la verghetta interna e si avvicini esternamente alla campana un corpo in comunicazione col suolo, il getto luminoso si piega verso quel corpo.

I fenomeni luminosi negli spazi vuoti si ottengono anche coll'elettrico, che si sviluppa all'atto dello sfregamento del vetro col mercurio mediante apparati appositi detti *tubi fosforescenti*. Questi tubi sono fatti di vetro, vuoti d'aria e ripiegati sotto diverse forme, in maniera che il mercurio, nel cadere in essi quando si capovolgono, stropiccia il vetro e dà nascimento al fluido elettrico, che si spande nello spazio vuoto e [illegible] luminoso. Lo stesso fenomeno si riscontra alla sommità de' barometri, agitando in essi il mercurio.

Si carichi una boccia di Leida, se ne levi il gancio mediante un manico [illegible] e si collochi sul piatto di una macchina pneumatica coprendola con una campana [illegible] si faccia il vuoto. Ad un certo grado di rarefazione dell'aria si osserveranno nell'oscurità uscire dalla boccia dei getti di luce [illegible] l'armatura esterna, la quale si [illegible] (§ 1395). Quando la boccia si elettrizza [illegible], allora si osservano i getti [illegible] esterna per rientrare nella boccia. Questi [illegible] sono una conseguenza e danno appoggio al sistema di un sol fluido.

1441. La luce si ottiene in virtù dell'elettrico naturale ai corpi [illegible] per attuazione. Un globo di vetro, munito di tubolatura con chiave, si vuota d'aria mediante la macchina pneumatica, e poscia si elettrizza in qualche parte della superficie esterna: al momento che l'elettrico ne invade la superficie, comparisce nell'interno del globo una luce diffusa. Non è questa prodotta dall'elettrico comunicato esternamente al globo, per essere il vetro impermeabile a quel fluido; ma il fenomeno accade in virtù dell'elettrico naturale alla superficie interna del vetro, reso libero per attuazione della carica esterna, nello stesso modo che, accumulandosi elettrico su di un'armatura dell'apparato di Leida, si rende libero quello naturale all'altra (§ 1365). Siccome poi la luce diffusa nella capacità ha l'apparenza dell'aurora boreale, così si suole al globo dare il nome d'*apparato dell'aurora boreale*.

A meglio riconoscere che il fenomeno ha origine dall'elettrico attuato e non dal comunicato, serve la *boccia con armatura a tubo*, la quale è una boccia di Leida assicurata pel suo collo dentro la tubulatura d'una campana di vetro, dove si fa il vuoto colla macchina

pneumatica. Versando dell'elettrico nella boccia, l'elettrico naturale della sua superficie esterna si diffonde nell'aria rarefatta della campana, e mette l'armatura interna in situazione di ricevere maggiore quantità d'elettrico (§ 1302). Si ha la prova che la luce elettrica non è prodotta dal fluido versato nella boccia, dall'osservare che l'apparato di Leida è caricato, e dopo aver lasciato rientrare l'aria se ne riceve la scossa prendendo con una mano la superficie esterna e toccando coll'altra il gancio dell'apparato di Leida.

1412. Colla pila di Volta si ottiene la scintilla anche con una sola coppia (§ 1368), non così colle pile termelettriche, le quali per la loro debolissima tensione si prestano difficilmente a produrre i fenomeni luminosi dell'elettrico. Antinori però, rinforzando la tensione all'appoggio del principio su riferito (§ 1371) e d'altro che vedremo nel seguente capitolo, ottenne la scintilla anche dalle pile termelettriche, ponendo nella spira cilindrica di filo di rame una verga di ferro dolce. Con somiglianti artifizi si giungerà forse ad ottenere eziandio all'elettrometro condensatore dei segni di tensione, dall'elettrico sviluppato per queste ultime pile, e così dimostrare in ogni caso l'eguaglianza degli effetti e per conseguenza l'identità della causa.

In generale diremo che la grandezza della luce, prodotta da semplici scintille nei casi considerati, dipende, come fu notato (§ 1294), da un'illusione ottica in virtù dell'enorme velocità del fluido elettrico.

Col pila si produce un fenomeno sorprendente di luce elettrica, conosciuto sotto il nome di *arco voltaico* (1). Per ottenerlo abbastanza appariscente si richiede almeno un elettromotore di 25 coppie di Grove o di Bunsen. In due tubulature, diametralmente opposte di un globo di vetro, entrano a sfregamento ed a tenuta d'aria due verghe d'ottone terminate internamente in pinzetta. Ciascuna pinzetta porta un pezzo di carbone o di metallo acuminato, e il sistema forma parte del circuito. All'istante, che si stabilisce il contatto dei due corpi acuminati, incomincia la corrente elettrica con grande sviluppo di luce e di calorico. Discostando gradatamente i due elettrodi nell'interno del globo coll'estrarne le verghette, si ha un arco luminoso più o meno grande. Quest'arco è accompagnato da trasporto di

(1) Parecchi fisici dopo Davy si sono occupati di questi sperimenti, su di che possono essere consultati gli *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. v, p. 230; t. vi, pag. 476, t. xix, pag. 32, t. xxvi, pag. 30; t. xxviii, pag. 33; come pure t. i della seconda serie, pag. 120 e t. iv, pag. 278.

materia ponderabile dalla punta positiva alla negativa, cioè dall'anodo al catodo (§ 1377), e per ottenerlo è necessario il previo contatto delle punte. La corrente si stabilisce anche senza il bisogno di contatto, facendo transitare fra l'intervallo delle due punte la scarica di una boccia di Leida.

Le particelle di materia trasportate dall'anodo al catodo presentano segni di combustione quando il fenomeno succede nell'aria atmosferica. Che se nel globo s'introduce un gas non atto a la combustione, per es. l'azoto, le particelle, distaccatesi dall'anodo e lanciate sul catodo, offrono segni di semplice fusione o di incandescenza. Vuotando il globo di vetro mediante la machina pneumatica, il trasporto delle particelle di carbone diventa più sensibile. All'anodo di carbone si forma una cavità dove può capire il cono depositatosi sul catodo, questa coincidenza non si riscontra quando l'arco luminoso ha luogo nell'aria per la combustione del carbone. Tutte le sperienze istituite giungono a stabilire che la luce dell'arco trae il suo carattere dall'anodo, e prende una tinta differente secondo la natura della materia dell'anodo medesimo. Se questo è di stagno la luce è azzurra, verdognola se è di rame, e se utilante col ferro nello stesso modo che succede colla combustione ordinaria di questo metallo. Lo splendore dell'arco varia colla combustibilità dell'anodo e del fluido intermedio, per cui riesce più lungo e più brillante fra due elettrodi ossidabili nell'aria atmosferica che nell'idrogeno. Operando con batterie voltaiche di poche coppie si deve però aver la cura di far uso come anodo di corpi dotati di debole coesione. Il carbone od il rame ridotto dall'idrogeno in polvere impalpabile e compresso in tubo di vetro facendo parte del reoforo positivo, dà un bell'arco luminoso anche con 10 in 12 coppie alla Bunsen, poco importando che al polo negativo vi sia un corpo dotato di molta coesione, come un metallo battuto. Se si istituisce l'esperienza all'inverso, prendendo cioè un pezzo di platino battuto per anodo ed uno di carbone come catodo, l'arco luminoso riesce meno splendente.

Con una batteria alla Grove od alla Bunsen di 100 coppie si produce un torrente di luce non inferiore a quella del sole, essendosi perciò cercato d'impiegarla ad illuminare dapprima le miniere e poscia le contrade e le piazze delle città (1). Un ostacolo però s'è ora opposto all'adozione di questo metodo d'illuminazione è il *tornacont*o

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xvii, pag. 26; t. xx, pag. 222; t. xxi, pag. 288; t. xxiii, pag. 63 e la 2ª serie t. i, pag. 405.

1445. La luce elettrica, esaminata a traverso il prisma, presenta diversi colori somiglianti a quelli della luce solare (§. 807). Fraunhofer ha trovato, nello spettro prismatico della luce elettrica, delle striscie differenti da quelle che risultano nell'analisi dello spettro solare (§. 812). Lo spettro della luce elettrica è stato poscia esaminato da Wheatstone, il quale ha veduto che le striscie variano nella posizione e nella tinta secondo la natura dei corpi, da cui si trae il torrente elettrico (1).

La luce elettrica è così fuggitiva che malagevolmente si potrebbe far uso dei fotometri comuni per valutarne l'intensità (§§. 752, 753 e 769). Masson si è occupato di fotometria elettrica (2), servendosi dei principii seguenti: se, alla presenza d'una luce fissa, si fa girare rapidamente un disco coperto di settori neri e bianchi (fig. 380), il disco stesso apparisce interamente bianco (§ 897), che se il chiarore è prodotto da una luce istantanea, il disco apparirà in quiete e si ravviseranno i settori di diversa tinta, e tanto più distintamente quanto più è intensa la luce istantanea. Allorquando il disco è contemporaneamente rischiarato da due luci, l'una permanente e l'altra istantanea, si vedranno i settori se la seconda ha un certo rapporto colla prima, il quale dipende dalla sensibilità dell'organo dell'osservatore e dall'intensità della luce fissa. In ogni caso però il rapporto fra le due luci alla comparsa dei settori rimane costante per lo stesso individuo. È generalmente ammesso che, se sopra una carta bianca si fa cadere una lieve ombra, essa è veduta sul fondo quando vi ha la differenza d'illuminamento di circa $^1/_{60}$. Si è secondo questi principii che l'autore costruisce il *fotometro elettrico*, il cui disco ha il diametro di 8 centimetri con 60 settori eguali. La rotazione è prodotta mediante un congegno d'orologeria, pel quale s'imprime al disco da 200 a 300 giri per secondo.

Col mezzo di tale strumento egli ha trovato che l'intensità di luce della scintilla è in ragione inversa della resistenza del circuito, e in ragione diretta del quadrato della quantità d'elettrico, fornito dalla carica, o della tensione al punto dell'esplosione. L'intensità della scintilla della scarica positiva è, a pari circostanze, doppia di quella negativa, la quale proposizione deve avere qualche rapporto colla di-

(1) *Traité expérimental de l'électricité et du magnétisme*, di Becquerel, t. iv, pag. 54.

(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xvi, pag. 46 e 2ª serie, t. iii, p. 65, e gli *Annales de chimie et de physique*, 1845, t. xiv, 129.

sperzione dei due stati elettrici (§. 1267). Egli ha inoltre trovato che l'intensità della scintilla è in ragione del quadrato della resistenza esplosiva dei fluidi, nei quali ha luogo: così, essendo 1 la resistenza esplosiva dell'aria, quella dell'essenza di trementina risulta di 15,5, e l'intensità della scintilla nel secondo fluido è quadrupla di quella nel primo.

Da quanto si è esposto nei precedenti paragrafi risulta che la luce elettrica sembra nella sua origine consistere in un moto vibratorio del principio imponderabile, per cui sono necessarie due condizioni *la rottura d'equilibrio e l'interruzione di continuità*. Essa però subisce delle modificazioni di splendore e di tinte per la combustibilità dei corpi dai quali proviene.

1444. Un altro effetto fisico dell'elettrico è la produzione del calorico. Presentando il lucignolo d'una candela appena spenta al conduttore della machina elettrica, si giunge spesso colla scintilla ad accendere il fumo che ne esala e quindi la candela medesima. Facendo balenare dal conduttore della machina elettrica la scintilla sulla superficie dell'alcoole un poco tiepido oppure dell'etere contenuto in un cucchiaio in comunicazione col suolo, il liquido si accende. L'esperienza s'istituisce eziandio con una piccola cassula di metallo applicata al conduttore e riempiuta di quel liquido, ed avvicinando al mezzo della superficie il globo dell'eccitatore se ne estrae la scintilla e se ne ottiene l'accensione.

Il colofonio è la materia resinosa che rimane dopo aver estratto dalla trementina l'olio essenziale, e il licopodio una polvere somigliante ai fiori di solfo che si estrae dal musco d'egual nome. Queste due materie sono combustibilissime e s'infiammano mediante la scintilla elettrica, operando nello stesso modo che si è fatto coll'alcoole S'accendono eziandio unendole al cotone, con cui si ricopre la palla dell'eccitatore o dello scaricatore per estrarre la scintilla dal conduttore o dalla boccia di Leida. Nel piccolo apparato, detto *casa del fulmine*, si accende il colofonio facendo balenare la scintilla fra due conduttori disposti nell'interno del medesimo.

1445. L'esca è più difficile ad essere accesa coll'elettrico. Allo scopo di giungere facilmente ad accenderla, se ne tagli un brandello della forma triangolare con un angolo molto acuto, e si tenga mediante una pinzetta le cui branche siano rotondate all'estremità e congiunte ad una catenella metallica in comunicazione coll'armatura esterna d'una giara di Leida Disposto ciò, si avvicina lentamente l'esca per l'angolo acuto al bottone della giara fortemente caricata e

ad una distanza da non provocarne la scintilla: l'elettrico si condensa sulla punta dell'esca e l'accende senza strepito e senza esplosione. L'effetto non succede quando balena la scintilla, perchè il torrente elettrico si scaglia a dirittura sul metallo della pinzetta e la sua azione non è d'altronde continuata pel tempo bastante a produrre la combustione. Un pezzetto di fosforo e di altre simili materie combustibili si accendono in modo somigliante.

1446. La polvere da fucile, per infiammarla, si pone in un cartoccio cilindrico legato con filo di seta. Il cartoccio è chiuso alle estremità con due verghe metalliche a contatto della polvere, e si dispone sulla tavoletta dello scaricatore universale o sopra un apparato apposito somigliante. Si scarica sopra il cartoccio una batteria di Leida, colla quale, se è abbastanza forte, si accende la polvere. Alcuni sogliono mescolare colla polvere della limatura di zinco per accenderla ma allo scopo di facilitarne la detonazione, ben anche con piccola batteria od una sola boccia di Leida, importa d'impedire che l'azione del torrente elettrico sia subitanea e non dia tempo all'accendimento, ed è perciò che bisogna dare alla scarica una certa durata per avere un'azione continuata. Facendo passare la scarica per le strisce di seta o di carta non secca a contatto colla polvere, l'infiammazione succede più facilmente. Nello stesso modo si accendono l'argento e il mercurio fulminante, come pure il cotone fulminante preparato nella maniera conosciuta (1).

1447. L'elettrico non solo accende i corpi solidi e liquidi, ma infiamma eziandio gli aeriformi. Il gas idrogeno è combustibilissimo e, mescolato coll'ossigeno o col cloro, detona con violenza per l'azione del fuoco (§§ 731 e 734). L'infiammazione di questi miscugli si ottiene pure con gran rumore mediante la scintilla elettrica. A tale scopo Volta ha imaginato l'apparecchio, cui si è dato il nome di *pistola di Volta*. Essa consiste in un recipiente di vetro o di metallo della figura d'una pera (fig. 381). S'introduce nella pistola del gas idrogeno, il quale si mescola coll'aria atmosferica che naturalmente contiene, e poscia se ne chiude l'apertura *d* con tappo di sovero. Ricevendo sulla palla *a* la scintilla dal conduttore della macchina elettrica, la scarica trascorre all'estremità *b* del filo metallico isolato in un tubetto di vetro e passa con altra scintilla sul filo metallico *c* in comunicazione col suolo. Nell'attraversare l'intervallo *bc*, l'elettrico accende il mi-

(1) *Annali di fisica, chimica ecc.* più volte citati, t. XXIV, pag. 135, 138, 140, 148, 151, 262, 275, 277, 298 e 302; e t. XXV, pag. 110 e 128.

scuglio gasoso contenuto nella pistola, per cui il tappo è slanciato a grande distanza con forte detonazione.

Sulla proprietà della scintilla di accendere il gas idrogeno, Volta ha imaginato l'*accendilume elettrico* (fig 382). Esso consiste nel gasometro di vetro A, che conosciamo (§ 669), e in cui si sviluppa il gas idrogeno per l'azione dello zinco sull'acqua acidulata (§. 727). Il gasometro appoggia sopra una cassetta, dove è custodito l'elettroforo (§ 1298), rappresentato a parte in B. Si stropiccia la stiacciata dell'elettroforo, e poscia si fa girare una chiave, con cui si apre il tubo laterale del gasometro, donde esce il gas in corrente. Nello stesso tempo si solleva lo scudo dell'elettroforo, e si produce una scintilla fra due conduttori per dove transita il gas, che infiammandosi accende il cerino, assicurato in vicinanza.

1448. Avanti di progredire nell'esposizione dei fatti, importa di domandare donde deriva il calorico che si svolge per mezzo dell'elettrico? È desso proprio dell'elettrico medesimo e sotto date circostanze un fluido si trasforma nell'altro? Oppure si sviluppa il calorico dalla materia ponderabile, nella stessa guisa che si svolge mediante la compressione e lo sfregamento? (§§ 1147 e 1149) Il termometro il più delicato, immerso nel razzo elettrico, non dà verun segno di calore. Il calorico sembra che abbia origine dalla materia ponderabile, imperciocchè non solo dai precedenti fatti, ma eziandio da parecchi altri che faremo conoscere, si scorge che lo sviluppo riesce tanto più grande, quanto meno il corpo è conduttore dell'elettrico Intanto osserviamo, in appoggio di tale ipotesi, che il termometro, mentre posto nel razzo elettrico non manifesta calore, esso ne dà segni allorquando la scintilla gli scoppia vicino, dove sappiamo che vi ha compressione dell'aria (§. 1425). Van-Marum infatti ha trovato, colla grandiosa machina elettrica di Harlem, che la scintilla innalza il mercurio nel termometro (1).

I metalli sono i migliori conduttori e sviluppano tanto più calorico quanto meno, per la loro natura o per le loro dimensioni, sono atti a condurre l'elettrico Si è già veduto che alcuni fisici si sono serviti di questo principio per determinare la facoltà conduttrice dei corpi (§. 1332). Allo scopo di valutare il differente grado di calore sviluppato dai corpi pel passaggio dell'elettrico, è stato imaginato da Beccaria e da Kinnersley uno strumento apposito (§. 1425), che fu poscia migliorato da Riess (2), ed a cui si è dato il nome di *termometro elet-*

(1) *Philosoph cal Magazine ecc*, t. XIII pag 405

(2) *Annali di fisica ecc* più volte citati, t. V pag 239

trico. Il corpo, che colle sue dilatazioni dinota il grado di riscaldamento, è l'aria come nel termoscopio di Galilei. Esso consiste in una sfera cava di vetro (fig. 383) del diametro di circa 8 centimetri, unita ad un tubo pure di vetro della lunghezza di 40, che termina in piccolo recipiente cilindrico. Accanto al tubo havvi la scala divisa in centimetri e millimetri, e tanto l'una che l'altro sono assicurati ad una tavoletta di legno, la quale, mediante un arco graduato ed una vite di pressione, può essere disposta sotto diverse inclinazioni. La sfera ha tre aperture o tubulature, di cui ciascuna è munita di viera metallica assicurata con mastice. L'apertura posta al di dietro, che non si vede nella figura, è chiusa a sfregamento con un tappo smerigliato, e serve per ristabilire il livello del liquido nel tubo, le altre due corrispondono alle estremità dello stesso diametro orizzontale della sfera, e si chiudono con tappi di metallo a vite e dischi di pelle interposti fra il piano delle viere e quello dei tappi medesimi. Pei fori quadrangolari delle due viere, diametralmente opposti, passano due pezzi prismatici forniti di pinzette, che sostengono il filo di metallo, per cui si fa transitare l'elettrico (fig. 384). Uno dei pezzi prismatici si prolunga in mastio di vite, al quale si adatta la madrevite d'una verghetta cilindrica di metallo, con cui il filo si dispone a traverso la capacità della sfera di vetro. Non resta allora che di levare la verghetta e sostituirvi la madrevite od il galletto per distendere invariabilmente il filo piegato talvolta in elica, secondo che si vuole sperimentare su d'una minore o maggiore lunghezza. E ciò per la ragione di dare allo strumento maggiore o minore sensibilità, riscaldandosi tanto più il filo quanto meno è lungo. La testa di ciascun tappo a vite, con cui si chiudono a tenuta d'aria le due tubulature, è munita di cavità conica (fig. 383) per ricevere un piuolo con vite di pressione destinato a congiungersi col conduttore della scarica elettrica.

Il liquido contenuto nel tubo è una mescolanza della gravità specifica 0,92 formata di acido solforico ed alcoole e colorita colla cocciniglia. Nel passaggio dell'elettrico, il filo si riscalda più o meno, dilata l'aria contenuta nella sfera, e questo fluido sospinge la colonnetta del liquido colorato, da cui si conosce il grado di riscaldamento e quindi quello dell'energia della scarica elettrica.

Le indicazioni della scala dello strumento dipendono non solo dal calorico che si sviluppa, ma eziandio dal grado d'inclinazione, dalla sezione trasversale del tubo e dal volume della sfera. Il calorico sviluppato poi non solo si attiene alla natura del metallo componente il filo, ma eziandio alla lunghezza e grossezza del medesimo. Riess

ha in una formola espresso in funzione di tutte queste quantità i gradi corrispondenti del termometro centesimale; formola che si può vedere negli *Annali* succitati.

1449. Allorquando l'elettrico è in gran quantità in proporzione della conducibilità e delle dimensioni del corpo, da cui è trasmesso; non solo il corpo medesimo è riscaldato, ma ben anche infuocato, fuso, volatilizzato secondo la forza della batteria. Si prenda un sottile filo di ferro ben polito e sottile come quelli per suoni acuti delle corde del piano forte, e s'introduca in un tubetto di vetro oppure si lascia disteso nell'aria. Facendo passare per esso la scarica d'una batteria di Leida, se questa è abbastanza forte, il filo non solo è arroventato, ma fuso e diviso in più parti, manifestandosi i segni di fusione principalmente alle estremità, che diventano rotondate. Con una o due giare elettriche, che abbiano per armatura 170 decim. quadrati, si sono fusi od anche abbruciati dei sottili fili di ferro immersi nell'acqua. Qualche fisico ha trovato che per fondere un filo di ferro, della lunghezza di centim. 13 del nº 12, si richiede una batteria di Leida di decim. quadr. 128 d'armatura fortemente caricata, e se il filo ha minor lunghezza è volatilizzato. Affinchè succeda la combustione bisogna che il filo sia contornato d'aria atmosferica e meglio di puro ossigeno. Anzi si può ripetere l'esperienza della viva combustione del filo di ferro nel puro ossigeno servendosi della scarica elettrica invece dell'esca (§. 1173). A tal fine il filo è disteso nella capacità d'una campana di vetro piena di puro ossigeno, e per esso si fa passare la scarica della batteria di Leida, per la quale il filo si riscalda ed abbrucia con viva luce, come nell'esperimento riferito.

Sottili foglie d'oro e d'argento rinchiuse fra due lamine di vetro, compresse da uno strettoio e comunicanti per le loro estremità con grosse liste di stagnuola che sporgono all'infuori (fig. 395), si fondono egualmente con iscariche elettriche provocate da batterie di Leida. La seta coperta di dorature sottoposta a scariche consimili mostra con quale rapidità le materie conduttrici sono investite dall'elettrico; l'oro, di cui è coperta, è fuso ed ossidato senza che il calore intacchi la stoffa serica colla quale è aderente. Per dare a queste esperienze un maggiore interesse, si copre la foglia d'oro o d'argento con una stoffa di seta bianca, interponendovi un foglio di carta con un disegno a traforo: dopo il passaggio della scarica elettrica l'ossido d'oro o d'argento resta impresso per gl'intaglio sulla seta formandovi il disegno. È appunto in questo modo che si ottengono le *incisioni elettriche*; talchè se il disegno a traforo è un ritratto, si ha appunto

l'incisione dell'eguale forma (fig. 386). Si comprende quindi come, colla scarica di grandi batterie di Leida lungo catenelle metalliche, si producono, sopra fogli di carta sottoposti, delle macchie nere in virtù della fusione e dell'ossidazione del metallo (1).

1430. I fenomeni calorifici si ottengono in modo più permanente col pilere colla corrente elettrica infatti si arroventano non solo, ma si fondono e si volatilizzano i corpi più refrattari. Un sottile filo di platino, di ferro o d'acciaio, che congiunge i poli della pila d'un certo numero di coppie, si riscalda, diventa rosso, e se è sufficientemente corto e sottile si fonde e ben anche si volatilizza. L'azione dell'elettrico nell'apparato voltiano è continuata, per cui diventa più efficace di quella istantanea e passeggera della batteria di Leida. L'arroventamento dei fili di platino per mezzo della corrente si è proposto per illuminare le reticole degli strumenti astronomici (2).

Lo svolgimento di calorico dai corpi dipende moltissimo dalla rapidità della corrente elettrica, in un modo somigliante allo sfregamento (§. 1149). E appunto per ciò che valgono più a tale effetto poche coppie ed anche una sola a larghe piastre, che una pila composta di gran numero di coppie. Così per es. una sola coppia rame-zinco della superficie di 100 decimetri quadrati fonde o almeno arroventa un dato filo di ferro, che una pila di 100 coppie, di cui la superficie di ciascuna piastra fosse di un solo decimetro quadrato, non sarebbe capace di arroventare o fondere. La pila a grandi piastre si è chiamata per tal ragione *calorimotore*. Colle pile a corrente costante però si producono degli effetti calorifici molto intensi in virtù dell'azione continuata e sempre eguale della corrente. Con 4 coppie di una pila alla Bunsen di grandezza comune ho fuso un sottile ago d'acciaio di alcuni centimetri di lunghezza che ho volatilizzato con 12 coppie. Avanti l'invenzione delle pile a corrente costante si produssero degli intensi calori con pile a larghe piastre di poche coppie. Il prof. Gazzeri con un elettromotore di due coppie a doppio rame, ciascuna delle quali aveva la piastra di zinco delle dimensioni di decim. 7,75 per 4,72 ossia colla superficie attiva dello zinco di decimetri quadrati 148, arroventò e fuse prontamente una listerella di palladio (3). Il conte Bardi fece costruire pel Gabinetto di fisica del Museo di Firenze una

(1) *Histoire de l'électricité*, di Priestley, tradotta dall'inglese. Parigi 1771, t. III, pag. 332.

(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVI, pag. 62.

(3) *Bibliothèque universelle di Ginevra*, del 1821, t. XVI, pag. 103.

pila a doppio rame, le cui piastre di zinco avevano ciascuna la superficie di decim. quadr. 501,22. Presentava quindi in totalità decimetri quadrati 3007,32 ossia più di 30 metri quadrati di superficie attiva di zinco. Con questo apparato voltiano arroventò in pochi secondi un filo di platino della lunghezza di 38 centimetri e della grossezza di $^3/_4$ di millimetro, e fuse un filo d'acciaio della grossezza di millimetri 1,5 (1).

Children, secondo i suggerimenti di Wollaston, fece costruire una batteria voltaica di 21 coppie a doppio rame, la cui piastra di zinco aveva le dimensioni di metri 1,83 (6 piedi inglesi), per metri 0,64 (piedi 2, 8), e per conseguenza presentava la superficie attiva nello zinco di metri quadr. 2,34 e in totalità la pila aveva per lo zinco metri quadrati 49. Il liquido conduttore era un miscuglio d'acqua con $^1/_{20}$ od anche più d'acido solforico e nitrico (2). Con questo elettromotore un filo di platino della lunghezza di centim. 50 e della grossezza di quasi 3 millimetri (pollici 0,11), diventava rosso-bianco. Una verga quadrangolare dello stesso metallo di millimetri 8 $^1/_2$ di lato e di più di 6 centimetri di lunghezza venne fusa; come pure vennero fusi o ridotti diversi ossidi metallici. La polvere di diamante, rinchiusa nella scanalatura d'un filo di ferro e sottoposta all'azione di quella corrente, venne fusa e il metallo convertito in acciaio. Egli riunì i poli di quella batteria voltaica con fili di due differenti metalli dello stesso diametro e della stessa grossezza. L'oro non provava veruna cambiamento sensibile mentre il ferro si arroventava; lo stesso avveniva dell'oro assieme col platino. L'oro si arroventava accoppiato con l'argento, il quale non prendeva lo stato d'ignizione. L'oro ed il rame sperimentati assieme si arroventavano ambidue. Il ferro in unione col platino si fondeva, mentre questo metallo diventava soltanto rosso. Il platino assieme collo zinco diventava rosso-bianco, senza che il secondo metallo presentasse veruna apparenza. Lo zinco si arroventò assieme all'argento, senza che questo provasse cangiamento sensibile. Ogni filo in questi sperimenti aveva la lunghezza di centim. 21,6 (poll. 8), e la grossezza di circa $^3/_4$ di millimetro. Congiungendo i poli della pila con catenella, i cui anelli siano fatti alternativamente d'argento e di platino, i secondi si arroventano mentre i primi semplicemente si riscaldano. Da questi fatti risulta che l'argento è il miglior conduttore della corrente voltaica, e ciò con un metodo

(1) Si vegga lo stesso tomo della *Bibliothèque succitata*, pag. 209.
(2) *Giornale di fisica, chimica* ecc. di Brugnatelli, t. IX, del 1816

somigliante a quello praticato da qualche fisico per la conducibilità presentata dai corpi all'elettrico di tensione (§. 1331).

Le pile a doppio rame ed altre consimili vengono ben presto meno nell'azione, e Davy colla pila dell'Istituto R. di Londra composta di 2000 coppie ottenne al principio degli effetti che tosto diminuivano. Despretz ha riunito 496 coppie alla Bunsen disposte in 4 serie parallele ciascuna di 124 coppie, ed ha volatilizzato il carbone di zucchero nel vuoto praticato nell'apparato suddescritto (§. 1434). Le particelle di carbone si depositarono sulle pareti del globo di vetro sotto forma di polvere nera, secca e cristallina. La volatilizzazione non accadeva adoprando soltanto 124, 248 ed anche 372 coppie, essendo necessaria l'intera batteria di 496 coppie (1). Operando nell'azoto con una pila di 600 coppie, Despretz ha fuso diverse specie di carbone (2). Fuse eziandio il silicio, il boro, il titanio e il tunsteno operando nell'azoto, e volatilizzando il titanio nel vuoto. Il tunsteno ha presentato nella fusione un fenomeno che noi attribuiamo a quelli dello stato sferoidale (§. 100). Il tunsteno riconsolidato è assai duro ed intacca il quarzo e le pietre preziose, e consuma le lime. Con 600 coppie alla Bunsen ha fuso 80 grammi di palladio e 250 di ritagli di platino, e ne avrebbe fuso in maggior quantità se avesse avuto crogiuoli di carbone più grandi (3). D'altronde Davy, colla grande batteria voltaica succitata che aveva metri quadrati 82,58 (pollici quadrati 128 mila) di superficie attiva di zinco, mise prontamente in fusione il platino, il quarzo, lo zaffiro, la magnesia, la piombaggine e il carbone di legna, e volatilizzò il diamante. Da questi fatti apparisce dunque, quanto abbiamo altrove asserito (§. 1218), che nello stato attuale della scienza niun corpo può dirsi refrattario.

14[illegible]. Dalle sperienze riferite si deduce che lo sviluppo di calore non solo è in ragione inversa della conducibilità del filo congiuntivo, ma eziandio della sua lunghezza. Se con una pila di 50 coppie, le cui piastre abbiano la superficie di 1 decimetro quadrato, si fonde un filo d'acciaio della lunghezza di 5 centimetri, si richiede una pila di altrettante coppie con piastre della superficie di 2 o di 4 decimetri quadrati per produrre il medesimo effetto sopra un filo d'acciaio dello stesso diametro e della lunghezza di 10 o di 20 centimetri.

Allorquando la pila è molto energica e il filo congiuntivo corto e

(1) *Annali di fisica ecc. più volte citati*, 2ª serie, t. III, pag. 32.
(2) *Annali suddetti*, t. IV, pag. 183, 250 e 270.
(3) *Annali di fisica ecc.*, più volte citati, t. III, pag. 137.

sottile e formato d'un corpo poco conduttore, come ferro, acciaio o platino; il metallo non solo si fonde, ma è volatilizzato. Succede la combustione e si forma un ossido metallico, se il filo è circondato da un gas comburente, come è l'aria o il puro ossigeno. Colla pila si può quindi istituire l'esperienza della combustione del filo di ferro circondato dall'ossigeno contenuto in una campana (§ 1449). Nell'esperienza dell'arco luminoso (§. 1442) si ha eziandio un grande sviluppo di calorico, e le particelle dell'anodo sono volatilizzate e trasportate sul catodo semplicemente fuse, quando il fenomeno succede nel vuoto o in un gas non comburente, e sono abbruciate quando si opera nell'aria o nell'ossigeno.

L'estremità d'un reoforo, pescando nel mercurio contenuto in vasellino di vetro, se si accosta l'altro reoforo al liquido metallico si ha una brillante scintilla, la quale è accompagnata da volatilizzazione e da combustione del mercurio, che si fa con istrepito adoperando una pila energica.

1452. La materia, divisa in piccolissime parti ed attenuata dal calorico, che si sviluppa in virtù dell'elettrico, penetra e s'interna nelle masse dei corpi. Fusinieri ha dimostrato con parecchi fatti l'insinuazione della materia così assottigliata nei metalli. Nelle pile a colonna di 50 ed anche di 200 coppie, ch'egli teneva in azione per tempi più o meno lunghi, faceva uso di coppie rame-zinco, le cui piastre erano saldate all'intorno con istagno. Queste coppie, così saldate, venivano ossidate nell'interno ed incurvate, provando gli effetti mecanici della corrente in virtù di esilissime particelle distaccate od introdotte fra le piastre medesime (1) Fusinieri ha istituito parecchie sperienze tanto coll'elettrico provocato dalle machine ordinarie quanto con quello del piliere (2). Egli riconobbe i metalli ridotti in tenuissime particelle internarsi in altri metalli, e l'argento trapassare il rame e l'oro trapassare l'argento, come succede nel torrente del fulmine, il quale altro non è che una scarica elettrica.

Dai fatti osservati, il dotto fisico italiano è guidato a risguardare nella materia, trasportata dall'elettrico in uno stato d'estrema divisione, una forza ripulsiva o d'espansione spontanea, per la quale i fluidi imponderabili consisterebbero nella materia stessa allo stato di estrema tenuità. Alcuni fisici stranieri esternarono dopo di lui la me-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXXI, pag. 64 e 149

(2) *Giornale di fisica, chimica* ecc. di L. Brugnatelli nei vol. del 1821, 1823, 1525 e 1827

desima opinione (1), la quale, mentre ha in suo favore alcuni effetti, è smentita però da molti altri fatti, secondo cui siamo indotti ad ammettere l'esistenza dei fluidi imponderabili o d'un unico etere diversamente modificato a norma delle circostanze. Infatti come mai la materia attenuata dagli ingredienti, di cui si compone la pila, potrebbe in un atomo di tempo, in una frazione sommamente piccola di secondo, percorrere il sottile filo metallico di centinaia e centinaia di chilometri dei telegrafi elettrici? Collocando al disotto di uno di questi fili di rame parecchi aghi calamitati, come quelli del galvanometro, alla distanza di 15 in 20 chilometri l'uno dall'altro; come mai tutti questi aghi deviano dalla loro direzione nell'istante istesso in cui il filo compie il circuito della pila? Come mai sarebbe capace, la supposta materia attenuatissima, di percorrere il lungo filo ed imprimere contemporaneamente il movimento agli aghi? D'altronde qual forza nella pila e nelle altre machine agirebbe sulla materia per ridurla a quel tenuissimo stato, in cui si sviluppa la supposta forza ripulsiva? Queste ed altre ragioni ci conducono ad ammettere l'esistenza di sostanze imponderabili, per le quali la materia comune è attenuata, e ne è l'effetto e non la causa. Si ammetta pure che gli effetti meccanici siano prodotti dalla materia attenuata dall'elettrico e che gli effetti luminosi siano variati da particelle della medesima in istato d'incandescenza o di combustione, non ne conseguita però che l'elettrico stesso consista in materia ponderabile estremamente divisa. L'acqua, a cagion d'esempio, attenuata in vapore dal calorico produce degli effetti meccanici, ma non si dedurrà perciò che il calorico medesimo sia formato da esilissime particelle d'acqua.

Lasciamo l'astrusa ed insolubile questione delle cause prime (§ 72) ed atteniamoci ai fatti. Aggiungeremo dunque a quegli esposti, che fili metallici, colpiti ed attraversati da poderose scariche di batterie di Leida, s'ingrossano e quindi s'accorciano in virtù d'una disgregazione ed un'alterazione del loro stato molecolare. Dipendono dagli stessi principi le tortuosità che prendono fili metallici attraversati da grandi scariche elettriche. La fragilità, che acquistano i fili metallici percorsi dalle correnti voltaiche (2), si attribuisce alle medesime cagioni. Parlando degli effetti chimici dell'elettrico avremo occasione di vedere altri esempi di trasporto di materia ponderabile attenuatissima.

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXI, pag. 289.
(2) Gli *Annali* medesimi, t. XIX, pag. 230.

1453. Si è esplorato il calorico, che si sviluppa in virtù della corrente elettrica, osservando l'aumento di temperatura d'una data quantità d'acqua durante un tempo parimenti dato. Pictet e Gazzeri, servendosi dell'elettromotore di quest'ultimo portato a tre coppie e di quello di sei coppie del conte Bardi (§ 1450), hanno riscaldato l'acqua contenuta in vasellino d'argento dell'altezza di 19 millimetri, e del diametro alla bocca di 22 ed al fondo di 13. Immergevano nel liquido il bulbo d'un termometro della grossezza di millimetri 4,5, e il piccolo calorimetro era collocato sopra sostegno di sovero come molto coibente del calorico, mentre il filo congiuntivo del piliere ripiegato ne occupava l'interno senza toccarne le pareti. L'aumento di temperatura si osservava dopo 5 minuti primi (1).

Collocando il calorimetro nel mezzo del filo congiuntivo, l'aumento di calore risultò di 4°,5, vicino al reoforo positivo di 10°,5 ed al negativo di 6°,9. Il filo congiuntivo era di platino della lunghezza di mill. 234 ed unitamente ai reofori di 587. Riducendo il filo stesso ad 1/[illegible] della sua lunghezza, si manifestarono degli effetti caloriﬁci 6 volte più grandi. Interrompendo nel suo mezzo il filo congiuntivo, gli effetti caloriﬁci di molto diminuivano. Le sperienze furono ripetute col grande elettromotore di Bardi, col quale l'acqua del calorimetro era posta in violenta ebollizione, talchè furono costretti a ridurre il tempo ad 1/[illegible] del precedente, cioè ad 1 minuto. Le superficie attive dei due apparati avevano il rapporto di 1 : 3 3/4, e il calore comunicato all'acqua dal primo risultò in termine medio di 7°,3 in 5', e quello comunicato dal secondo di 19° in 1', il che darebbe 95° in 5'. Da ciò si deduce che i loro poteri caloriferi sono nel rapporto di 1 : 13 mentre le superficie attive hanno il rapporto di 1 : 3 3/4.

Esperimentando con filo congiuntivo assai corto, l'acqua giungeva col secondo elettromotore ben presto all'ebollizione; interrompendo il circuito, l'ebollizione tosto cessava, e ricompariva istantaneamente ricompiendo di nuovo il circuito, senza scorgere intervallo di tempo sensibile fra il ristabilimento del circuito e la ricomparsa dell'ebollizione. Il calorico dunque in tal caso si propagava istantaneamente nell'acqua così poco conduttrice (§ 1048), per cui pare che riceva la velocità di propagazione dell'elettrico donde ha origine.

L'acqua in quel calorimetro era in piccola quantità, ma quando la massa del liquido sia abbastanza grande, essa non entra così facilmente in ebollizione e nel filo congiuntivo si concentra il calorico

(1) *Bibliothèque universelle di Ginevra*, del 1831, t. XVI, pag. 176

Con un pilere di 10 coppie a doppio rame, le cui piastre di zinco avevano la superficie di 1 decimetro quadrato, Davy fondeva nell'aria un filo di platino della lunghezza di 1 decimetro e della grossezza di $^1/_7$ di millimetro, e lo arroventava nell'acqua e nell'olio. Se il filo era circondato d'etere, esso non si arroventava portando ben anche il pilere a 12 coppie, e se esso si riduceva al quarto di lunghezza o centimetri 2,5, il calore decomponeva l'etere. Un altro effetto, appartenente a questa categoria, si ottiene con due fili di platino l'uno sottile come elettrodo negativo e l'altro grosso come elettrodo positivo d'un pilere di qualche centinaio di coppie, immergendo il filo grosso in una soluzione concentrata di cloruro di calcio, mentre col sottile si tocca appena la superficie del liquido, quest'ultimo è fuso in globetti all'estremità ogni volta che si compie il circuito, e l'effetto si riduce alla semplice ignizione tenendo immerso il filo sottile e toccando il liquido con quello grosso. Altri fenomeni consimili si possono vedere negli *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. vii, p. 284.

Dalle sperienze di Pictet e Gazzeri si vede che il calorico è maggiore all'anodo che al catodo del pilere. In prova di tale verità aggiungiamo che Walker (1), con una pila di 160 coppie disposte alla Daniell, ha sovrapposto incrocciati i fili polari senza però metterli a contatto lasciando fra loro un piccolo intervallo. Una corrente continua con brillante luce si manifestò nell'intervallo, e l'elettrodo positivo diventò d'un rosso vivo dal punto dell'incrociamento alla sua estremità libera posta fuori del circuito, essendosi incurvato per la mollezza acquistata; al contrario l'elettrodo negativo non ha provato riscaldamento sensibile. Altre prove di questa verità si hanno nel succitato t. vii degli *Annali di fisica* ecc. e nel t. x, pag. 137.

1454. L'elettrico, nel trascorrere sui corpi, ne sviluppa il calorico latente o combinato (§ 1448), e nel trascorrimento è diminuita e vinta la coesione o l'affinità. Nei solidi sembra che lo sviluppo sia tanto più grande quanto più è grande la coesione delle loro molecole posta pari la conducibilità per l'elettrico. Il ferro ed il platino, che hanno molta coesione, sviluppano maggior quantità di calorico del piombo quantunque sia meno conduttore di quei due metalli. Interesserebbe di determinare con esperienze dirette se vi abbia in ogni caso relazione fra la coesione e la quantità di calorico sviluppato pel trascorrimento dell'elettrico, e ciò analogamente a quanto si riscontra nella combustione ordinaria dei legni, che svolgono tanto più

(1) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. xxii, pag. 217.

calorico quanto più sono composti di materie compatte e dure. Lo stato d'aggregazione al pari dell'azione chimica ha una grande relazione col calorico, e Riess (1), osserva che, partendo dal più debole sviluppo agli effetti della scarica la più energica, il filo diventa caldo, prova dei movimenti vibratorii, s'incurva, s'arroventa, si separa violentemente dai punti dove è fissato, scoppia, si fonde, si trasforma in polvere. Lo stesso Riess, servendosi del termometro elettrico (§. 1448), stabilisce le leggi seguenti pel calorico svolto in virtù dell'elettrico delle machine a stropicciamento, poste pari tutte le circostanze, *l'elevazione di temperatura è in ragion inversa della quarta potenza del diametro del filo conduttore*, come pure *in ragione inversa della durata della scarica*. Il ritardo provato dalla scarica in causa del filo si sa che è in ragion diretta della lunghezza ed inversa del quadrato del diametro (§. 1416). Infine *l'elevazione di temperatura nella sezione normale d'un filo omogeneo è in ragione della quantità d'elettrico divisa pel tempo della scarica.*

Joule (2), Lenz (3), Botto (4), Edmondo Becquerel (5) si sono occupati a stabilire le leggi del calorico sviluppato dai corpi in virtù della corrente elettrica della pila. I metodi da loro usati, per misurare la quantità di calorico libero, sono fondati sui principii altrove esposti (§. 1136). Dal complesso delle loro indagini si deduce che il riscaldamento, del filo metallico percorso dalla corrente voltaica, è in ragione inversa della conducibilità o in ragion composta diretta della resistenza e del quadrato dell'intensità della corrente medesima. L'elevazione di temperatura dei diversi punti del filo è in ragion inversa della quarta potenza del diametro di lui. Posta la più vantaggiosa disposizione della pila, la quantità di calorico sviluppato è proporzionale all'estensione totale della superficie attiva dello zinco. Nella disposizione più vantaggiosa, la resistenza del filo da riscaldarsi deve essere eguale alla resistenza della pila. Le leggi medesime si verificano pel calorico sviluppato dai liquidi percorsi dalla corrente elettrica, quando si tenga conto del calorico proveniente dall'azione chimica.

(1) *Annalen der Physik* ecc. di Poggendorff, t. LXV, pag. 481.
(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. VIII, pag. 32 e t. XVI, pag. 40.
(3) I medesimi *Annali*, t. XVI, pag. 60.
(4) *Memorie della Reale Accademia delle scienze* di Torino, serie 2ª, t. VIII, ed i suddetti *Annali*, t. XVII, pag. 188, e t. XVI, pag. 231.
(5) *Annali di fisica* ecc. precedentemente citati, t. X, pag. 128.

1455 La stessa corrente del piliere di Volta, mentre riscalda, arroventa, fonde, volatilizza ed infiamma i corpi pei quali transita; è singolare che in alcune circostanze produce un effetto contrario, il raffreddamento. Questa contrarietà d'effetti si riscontra talvolta in altri fenomeni (§. 1188) Allorquando il conduttore è eterogeneo, il riscaldamento non ha sempre luogo: così se, per es. esso è composto di bismuto saldato all'antimonio e la corrente entra nel primo ed esce pel secondo metallo, si ha un raffreddamento nel luogo di congiunzione dei due componenti il conduttore medesimo. Peltier sin dal 1834 annunziava un tal fatto (1), e si serviva per iscoprirlo di *pinzette termelettriche*, formate di due metalli, secondo i principii esposti (§. 1596), le cui branche erano applicate al luogo di congiunzione dei due metalli del conduttore della corrente. La pinzetta costituiva in tal guisa una coppia termelettrica in comunicazione col galvanometro, nel quale si aveva l'indicazione della corrente in un verso o nell'opposto secondo che, al luogo di congiunzione, succedeva riscaldamento o raffreddamento. Si è in tal modo che Peltier stabiliva essere eguale l'elevazione di temperatura in tutta la lunghezza del filo conduttore della corrente quando esso è omogeneo, eccetto verso le sue estremità ove si congiunge ad altri metalli. Stabiliva altresì che all'estremità del metallo l'elevazione di temperatura riesce secondo lui maggiore, allorchè la corrente passa da uno in altro cattivo conduttore dell'elettrico, ed al contrario diminuisce la temperatura quando va da uno in altro miglior conduttore. Trovò eziandio dei metalli, e fra essi quelli che facilmente cristallizzano, nei quali in virtù del passaggio della corrente, invece d'un minore riscaldamento, si ha diminuzione di temperatura nel punto della loro congiunzione.

I fenomeni descritti però non dipendono dalla maggiore o minore conducibilità dei metalli accoppiati, o dal loro differente stato molecolare. Infatti il raffreddamento non solo si riscontra nel transitare la corrente dal bismuto all'antimonio, ma eziandio dal bismuto al rame; dal rame all'antimonio; e in debole grado dal rame al ferro e dal platino al ferro. D'altra parte vi ha minore elevazione di temperatura quando la corrente è diretta dal platino al rame, dal piombo al rame e dallo stagno al rame, e debole differenza nell'elevazione di temperatura quando la corrente va dallo zinco al rame, o dal rame all'argento. Dagli esempi addotti si scorge che la minore temperatura ed il raffreddamento, nel passare la corrente voltaica da uno in altro

(1) *Annales de chimie et de physique*, seconda serie, t. 56, pag. 371

metallo, dipendono dalle proprietà termelettriche dei metalli medesimi. Il prof. Pacinotti infatti, in due successive Memorie (1) ha dimostrato un tale collegamento, che in uno scritto sulla conducibilità ha verificato poscia Edmondo Becquerel (2). Il fisico italiano ha riconosciuto che bisognava distinguere i primi istanti dell'invasione dell'elettrico dal tempo successivo e, passando la corrente d'una gran coppia voltaica dal bismuto all'antimonio, produce nella loro saldatura un raffreddamento che si manifesta al massimo nei primi istanti e poscia va diminuendo e si converte in tenue riscaldamento. Quest'aumento di temperatura non raggiunge mai ad eguagliare quello che si osserva nello stesso conduttore quando la corrente procede per contrario verso dall'antimonio al bismuto. Pacinotti osservò altresì che il riscaldamento, avvenuto dopo i primi istanti, è dovuto alla propagazione del calorico, e si farebbe maggiore se non fosse impedito dal *potere refrigerante della corrente, il quale non è istantaneo, ma si mantiene anche dura la corrente medesima*. Egli ha trovato il vincolo fra il fenomeno e le correnti termelettriche, risultando dalle sue sperienze che *la corrente voltaica produce freddo, quando in una coppia metallica essa cammina per quella direzione, in cui suole eccitarsi la corrente termelettrica col riscaldamento*. Secondo le sperienze del nominato professore risulta eziandio che *in quelle coppie metalliche, ove la elettromotricità pel calorico è maggiore, si ha anche maggiore l'effetto frigorifero della corrente elettrica*. Pacinotti stabiliva eziandio che un conduttore, formato alternativamente di due metalli come sono le pile termelettriche, dopo essere stato percorso dalla corrente voltaica, manifesta al galvanometro, con cui è posto in comunicazione per le sue estremità, una corrente termelettrica, che ha direzione opposta a quella voltaica, che per abbreviare il discorso chiameremo *generatrice*, dando a quella risultante il nome di *generata*. Infatti, ponendo che il conduttore sia composto di pezzi alternati di bismuto ed antimonio e la corrente entri pel primo pezzo di bismuto uscendo dall'ultimo pezzo d'antimonio, si raffreddano le congiunzioni ove essa passa dal bismuto all'antimonio e si riscaldano quelle dall'antimonio al bismuto. Levando il conduttore dai poli della pila voltaica e mettendolo in circuito col galvanometro, si ha indizio di corrente nel conduttore medesimo, il quale, per avere le saldature dispari raffreddate e quelle pari riscaldate, è una vera pila termelet-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. VII, pag. 135 e t. XIII, pag. 47.
(2) *Annali* suddetti, t. XXVII, pag. 234.

trica in azione (§ 1389) Il conduttore dunque mostrerà colla corrente generata la differenza di temperatura prodotta nelle sue congiunzioni dal passaggio della generatrice. La corrente termelettrica poi, andando nelle saldature riscaldate o nelle pari dall'antimonio al bismuto, riuscirà inversa alla generatrice. Dopo aver trasmesso pel conduttore la corrente generatrice in una direzione e dopo averne constatato in pochi secondi la generata, Pacinotti introduceva tosto nello stesso conduttore la corrente generatrice in contraria direzione ed esplorava di nuovo la corrente generata nel conduttore. Trovava egli in tal modo che la corrente generata nel secondo sperimento aveva ancora la direzione contraria alla generatrice. Dunque nel secondo trascorrimento dell'elettrico del pilere voltiano si sono riscaldate le saldature del conduttore che dianzi erano raffreddate e così all'inverso Quest'invertimento della corrente generata, dopo essere stato percorso il conduttore dalla generatrice in contrario verso, mostra che le saldature hanno provato un reale abbassamento di temperatura. Il raffreddamento d'altronde, nel passaggio della corrente voltaica dal bismuto all'antimonio, è provato col termometro elettrico (§ 1448)

1456. Il fenomeno del raffreddamento alla saldatura dell'accoppiamento dei due metalli è stato ottenuto da Pacinotti non solo colla corrente voltaica, ma eziandio con quella termelettrica d'una pila di duecento coppie bismuto ed antimonio, e colla corrente sviluppata mediante le calamite, la quale esamineremo nel seguente capitolo.

Ammesso che le più deboli correnti fanno acquistare ad un conduttore composto la proprietà di produrre una corrente termelettrica, si deduce che nelle pile termelettriche lo sbilancio di temperatura negli elementi si estingue in minor tempo a circuito interrotto che a circuito compiuto; per la ragione che la corrente stessa tende a riscaldare le parti, che sono fredde ed all'inverso Si deduce altresì che una debole corrente, dovendo transitare molte alternative di metalli, trova in questi passaggi delle sensibili resistenze in causa della corrente termelettrica, che si genera nel circuito.

Gmelin ha cercato di spiegare il singolare fenomeno di raffreddamento prodotto dal trascorrimento dell'elettrico, col far riflettere che il bismuto è meno conduttore dell'antimonio (1) Wartmann ha accoppiato un gran numero di metalli diversi per provare pure che il

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. III, pag. 141.

fenomeno dipende dalla differenza di conducibilità (1). Tale interpretazione però ora non è più ammissibile, essendosi veduto, che il raffreddamento avviene anche in altre circostanze. L'attribuirlo alla corrente termo elettrica, che nasce in direzione opposta, come fanno alcuni fisici, è contro la buona logica, giacchè si darebbe per causa il risultato dell'effetto medesimo. Le spiegazioni accennate non sono d'altronde attendibili dopo che Pianciani e Spandri hanno provato che *la corrente elettrica alza la temperatura entrando nel bismuto e l'abbassa uscendo dal medesimo metallo, senza bisogno di accoppiarlo coll'antimonio* (2). Il raffreddamento deve avere molta relazione col *calorico specifico* e col *potere emittente* dei metalli da cui dipende il loro termoelettricismo (§ 1388), e ben poca col *poter conduttore* intorno a cui si è forse un po' troppo divagato Edmondo Becquerel (3). Tuttavolta quella relazione importerebbe che fosse verificata con esperienze dirette. Al luogo dove sono saldati il bismuto e l'antimonio praticando una piccola cavità e versandovi una goccia d'acqua, si giunge a congelarla, come ha fatto Lenz, col raffreddamento prodotto dalla corrente elettrica.

1457. Coll'elettrico si producono eziandio degli effetti chimici, che non sono meno importanti di quelli meccanici e fisici, di cui sinora si è discorso. Essi si ottengono tanto colle scariche dell'elettrico di tensione quanto colle correnti continue. Per decomporre l'acqua si richiedono in generale delle violenti scariche di grandi batterie di Leida; ma Wollaston è giunto con deboli scariche al medesimo risultato dirigendo e concentrando l'azione del corrente elettrico su minime particelle di quel liquido. A tal fine egli introduceva in un tubo capillare di vetro un sottilissimo filo d'oro o di platino ben acuminato ad un'estremità, e poscia fondeva il vetro al cannello avvivatore ed avviluppava strettamente il filo nella massa vitrea. Colla mola dell'arrotino metteva a nudo la punta del filo, la quale era così acuta, che riusciva visibile soltanto col mezzo d'una lente. Il filo terminava all'altra estremità in una palla metallica, colla quale traeva delle scintille dal conduttore della macchina elettrica, mentre la punta pescava nell'acqua contenuta in un vaso in comunicazione col suolo. Durante il tempo che balenavano le scintille, comparivano sulla punta delle bolle aeriformi, che si riconobbero formate dei due gas componenti

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. III, pag. 113.
(2) *Annali* suddetti, t. XIX, pag. 134.
(3) Gli *Annali* medesimi, t. XXVIII, pag. 20 e t. XXIX, pag. 123.

l'acqua (§. 727). Wollaston misurò la distanza esplosiva che bisogna dare alla scintilla secondo la finezza del filo: quella di 3 millimetri ($^1/_8$ di pollice) bastava a decomporre l'acqua quando il diametro della punta era di $^1/_{25}$ di millimetro ($^1/_{[illegible]}$ di pollice). Con un filo del diametro di $^{[illegible]}/_{[illegible]}$ di millimetro ($^1/_{[illegible]}$ di pollice), decompose l'acqua ricevendo le scintille alla distanza di millimetri 2,5. Allo scopo di ridurre al minimo la quantità d'elettrico per ottenere l'effetto chimico della decomposizione, si occupò a rendere più sottile il filo metallico, introducendo in un tubo capillare una soluzione d'oro nell'acqua regia, che sottopose ad un forte calore e fece evaporare il liquido, rimanendo un esilissimo strato d'oro sulle pareti, che coll'azione del calore si ridusse ad un sottilissimo filo. Con questo piccolo apparecchio otteneva la decomposizione dell'acqua, mettendolo per un'estremità in comunicazione col conduttore della machina e tenendolo per l'altra immerso nell'acqua. Versando l'acqua in vaso di vetro ed immergendo in essa per un'estremità due di quei tubi, il primo dei quali si mette in comunicazione per l'altra estremità col conduttore della machina e il secondo col suolo, e coprendo la punta metallica di ciascun tubo, rivolto all'insu, con piccole campane di vetro piene pure d'acqua; i gas che si svolgono sopra ciascuna punta salgono nella rispettiva campana e si raccolgono nelle medesime in proporzioni eguali a quelle che entrano nella composizione dell'acqua, trovandosi in una campana un volume d'ossigeno e nell'altra due volumi d'idrogeno (§.727).

1458. Coll'elettrico delle machine ordinarie si decompongono altri corpi. Beccaria sin nel trascorso secolo giunse colle scariche della batteria di Leida non solo a fondere il borace ed il vetro, ma ben anche a ridurre gli ossidi metallici. Dirigendo delle poderose scariche di batterie di Leida sopra ossidi rinchiusi in tubi di vetro, rivivificò parecchi metalli, fra i quali lo zinco ed il mercurio (1). In queste esperienze egli osservò sempre delle tinte nere al di là di quelle colorate (*Lettere*, pag. 256).

Le tinture vegetali si decompongono pure sotto l'azione delle scariche elettriche cambiando il loro colore. Si bagna della carta con infusione di tornasole carica, e si faccia passare sulla medesima dei torrenti d'elettrico mediante la machina a stropicciamento per mezzo di fine punte d'oro, che ne toccano la superficie alla distanza di 20 in 25 millimetri l'una dall'altra, e sono in comunicazione l'una col

(1) *Elettricismo atmosferico*, lettere ecc. Bologna 1758, pag. 282, ed anche *Histoire de l'électricité*, di Priestley, tradotta dall'inglese, t. II, pag. [illegible]

conduttore e l'altra col suolo. Dopo un certo numero di giri del disco si scorge sulla punta positiva, da cui sbocca l'elettrico, una macchia rossa. Collocando su questa macchia la punta negativa, per dove entra l'elettrico e che comunica coi cuscinetti della machina a disco di vetro, si ripristina il primitivo colore della tintura. Questo come gli altri effetti chimici si ottengono più facilmente operando colla corrente del pilere voltiano.

1439. La decomposizione dell'acqua è stata il primo effetto chimico ottenuto dalla pila. Esso riuscì come il punto di partenza, donde la scienza venne in seguito a tante scoperte fatte mediante l'apparato voltiano, per cui alcune nazioni se ne disputano la priorità. Gli olandesi Deimann e Troostwych, prima di Wollaston, hanno ottenuto la decomposizione dell'acqua, mettendone una goccia fra due punte metalliche sulle quali scaricavano una grande batteria di Leida (1), che fu poscia ripetuta da Pearson e Cuthbertson (2). La questione però è di operare la decomposizione per mezzo della pila, per cui essa si riduce fra gl'inglesi Carlisle e Nicholson e gl'italiani Volta e Brugnatelli. Landriani, già professore di fisica al R. Liceo S. Alessandro di Milano, scriveva da Vienna a Volta annunziandogli la decomposizione dell'acqua ottenuta dai due fisici inglesi; a cui egli rispondeva in data 17 agosto 1800 che quei fenomeni non gli erano nuovi dopo che col suo collega Brugnatelli avevano fatto l'osservazione *della pronta decomposizione del sal comune ed altri sali sciolti nell'acqua in cui pescano i due metalli dissimili dell'apparato, e della cotanto promossa ossidazione dello zinco* (3). Ma ciò che è da notare si è che Volta scrisse su tale argomento due lettere a Landriani, di cui la prima deve essere stata comunicata a Nicholson (4), per cui quest'ultimo non avrebbe fatto che ripetere le sperienze del fisico italiano. Del resto rispettabili dotti stranieri riconoscono la priorità di Volta e Brugnatelli nei fenomeni chimici della pila (5).

Allo scopo di ottenere facilmente la separazione dei componenti dell'acqua, serve oggidì l'*apparato di decomposizione*. Consiste esso in un bicchiere di vetro (fig. 387) con due fori verso il fondo, dove sono

(1) *Journal der Physik* di Gren. Lipsia 1790, t. II, pag. 130.

(2) *Nicholson's Journal*, t. I, pag. 242.

(3) Pel carteggio fra Volta e Landriani si vegga la *Collezione delle opere* ecc., t. II, parte 2ª, pag. 135 ed alla pag. 279.

(4) Su tale questione si consultino il *Giornale di fisica*, ecc. di Pavia del 1826, pag. 465, ed il *Bulletin* di Ferussac, t. VII, pag. 397.

(5) *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. IV, pag. 500.

assicurati con mastice o cera di Spagna due fili o due laminette di platino e talvolta di qualche altro metallo, le quali s'innalzano nell'acqua per pochi centimetri e sono coperte di piccole campane di vetro piene pure d'acqua. All'esterno ciascuna delle laminette comunica con filo di rame, che serve a congiungerle rispettivamente coi poli della pila. L'apparato di decomposizione si forma eziandio con un imbuto di vetro (fig. 388) chiuso mediante un tappo di sovero, attraverso al quale passano le laminette metalliche.

Tosto che si stabiliscono le comunicazioni coi poli della pila, compariscono nelle due campane bolle di gas, che si portano alla sommità, trovandosi in quella, che copre il filo positivo, l'ossigeno e nell'altra campana l'idrogeno. La corrente elettrica, nel transitare dall'una all'altra laminetta, decompone l'acqua ed i due gas divisi si raccolgono nei rispettivi recipienti. Se la laminetta al polo positivo, invece d'essere di platino o d'oro, è d'un metallo facile ad essere intaccato dall'ossigeno, come per es. il ferro od il rame, allora si forma un ossido e non si sviluppa gas allo stato aeriforme. Continuando l'esperimento per un certo tempo si osserva che la laminetta negativa conserva il suo brillante metallico, mentre l'altra per l'azione continuata dell'ossigeno, prende il colore violaceo se è d'oro, e si veste d'una crosta biancastra se è di platino. L'acqua distillata si decompone assai lentamente, ma mescolata con qualche acido o sale, per renderla più conduttrice, la decomposizione è più celere ed in pochi minuti si raccolgono nel recipiente del polo negativo due centimetri cubi d'idrogeno e in quello del polo positivo un centimetro cubo di ossigeno, che sono appunto le proporzioni in volume di cui è composta l'acqua (§ 727). È per ciò che nel recipiente del polo negativo le bolle sono più copiose e grosse di quelle che si scorgono nell'altro. Tutto ciò che tende ad impedire il passaggio della corrente, rende meno abbondante la decomposizione. Infatti, interponendo alla corrente dei diaframmi metallici immersi a qualche distanza nel liquido, la decomposizione riesce minore.

La decomposizione dell'acqua fu il primo segnale, che mostrò come l'apparato voltiano poteva diventare uno strumento molto utile nelle analisi chimiche. Infatti si giunse per esso a scoprire gli elementi di molti corpi, che sino allora si erano creduti semplici. Importa quindi di far conoscere come i fisici considerano la decomposizione operata dalla corrente elettrica. Concepiamo una serie di molecole acquee formanti una specie di catena retta o curva, che mette in comunicazione i poli della pila. L'elettrico, giunto alla prima molecola,

ne separa i due elementi, idrogeno ed ossigeno: il secondo, come eminentemente elettro-negativo, è attratto al polo positivo e sale alla sommità della campana corrispondente, ed intanto l'elettrico opera la decomposizione della seconda molecola, l'ossigeno della quale incontrando l'idrogeno della prima si combina ad esso e forma ancora dell'acqua, mentre il proprio idrogeno rimane libero. Giunta la corrente alla terza molecola acquea ne opera egualmente la disgregazione degli elementi, unendosi l'ossigeno all'idrogeno della precedente e rimanendo libero il suo idrogeno. Accade lo stesso della quarta e delle successive molecole acquee sino all'ultima in presenza del polo negativo, al quale si porta l'idrogeno grandemente elettro-positivo e si raduna alla sommità della campana corrispondente. In questa maniera d'interpretare il fenomeno l'ossigeno, della prima molecola acquea sarebbe quello che allo stato aeriforme si radunerebbe al polo positivo; mentre a quello negativo si raccoglierebbe l'idrogeno dell'ultima molecola. Non si avrebbe dunque *traslazione* dell'idrogeno della prima molecola, ma soltanto *dislocazione*. Questa maniera d'interpretazione è stata data da Grotthus ed è adottata da parecchi fisici: parlando del trasporto di materia ponderabile, che accompagna l'effetto chimico, vedremo quale probabilità essa abbia.

1460. La decomposizione dell'acqua è tanto più abbondante quanto più energica è la corrente. Avanti di conoscere le pile a corrente costante, se ne richiedevano 8 in 10 coppie di quelle comuni, e qualche fisico annunziava come un gran fatto di essere giunto alla decomposizione di quel fluido con una pila di rame e zinco composta di 4 in 5 coppie (1), ma con una sola coppia formata secondo Grove (§.1359) o secondo Bunsen (§. 1360), si giunge a decomporre l'acqua, non però con una sola coppia disposta alla Daniell (§. 1358). Per istituire l'esperimento nella scuola ed avere uno sviluppo molto sensibile dei due gas è meglio adoperare 4 in 5 coppie a corrente costante. Si è già veduto che l'acqua si decompone eziandio coll'elettromotore per induzione (§. 1375).

La decomposizione dell'acqua è ritardata dalla polarizzazione degli elettrodi, per cui nasce una corrente in contrario verso (§. 1377), la quale indebolisce la primaria. La polarizzazione è grande nel platino e negli altri metalli non intaccati dal liquido in causa che aderisce più facilmente alla superficie dell'elettrodo negativo l'idrogeno come eminentemente positivo, ed a quella dell'elettrodo positivo

(1) *Bulletin de Ferussac* 1825, t. I, pag. 139.

l'ossigeno come eminentemente negativo. D'altronde i corpi intaccati consumiano il gas e producono ben anche dei composti, che talvolta stanno aderenti agli elettrodi e li polarizzano. Per accelerare la decomposizione, bisogna impedire l'aderenza dei gas alla superficie degli elettrodi, ed è perciò che Poggendorff consiglia di formarli, non con lamine lucide di platino ma coperte d'uno strato granulento dello stesso metallo (1) depositato col metodo elettro-chimico, che quanto prima apprenderemo, e ciò a somiglianza degli elementi delle coppie voltaiche di Smee (§ 1361). Infatti Poggendorff, con elettrodi di platino granulento, ottenne, per mezzo di una sola coppia alla Grove, un volume di gas 87 volte maggiore di quello che otteneva colla medesima ad elettrodi lucidi In tale maniera si ottiene la decomposizione anche con una sola coppia alla Daniell Lo sviluppo dei gas è ancor più abbondante immergendo uno degli elettrodi dell'apparato di decomposizione nell'acido solforico allungato e l'altro in una soluzione di potassa, e tenendo divisi i due liquidi da un diaframma oppure versando uno di essi in un truogo poroso. L'azione è ancor maggiore quando si sostituisce, al platino che pesca nella potassa, il ferro laminato. Un apparato di decomposizione costrutto in questo modo sviluppa 5 centimetri cubi di gas per minuto, quantità superiore a quella ottenuta cogli elettrodi platinati.

1461. Faraday, ritenendo che la quantità dei gas risultanti dalla decomposizione sia proporzionale all'intensità della corrente elettrica, ha proposto di servirsi della misura del volume dei due gas per avere quella dell'energia della corrente A tal fine serve l'apparato di decomposizione munito d'una sola piccola campana graduata in centimetri cubi, sotto la quale corrispondono i due elettrodi per raccogliere i gas, e dal volume dei medesimi ottenuto in una data unità di tempo si ha l'espressione dell'energia della corrente da cui furono prodotti In questo caso l'apparato di decomposizione prende il nome di *voltametro*; di cui il più comodo è rappresentato nella fig 389. Esso consiste in un tubo di vetro a sifone (2), con un ramo chiuso e l'altro aperto, essendo il primo verticale e gradato in centimetri cubi segnati sul vetro dall'alto al basso I due elettrodi di platino sono disposti a conveniente distanza a rincontro l'uno dell'altro nell'interno del tubo, e comunicano esternamente con due morsetti d'ottone. I due elettrodi attraversano le pareti del tubo e combaciano esattamente

(1) *Annali di fisica ecc* più volte citati t. XXVIII, pag. 95 e t. XXIX pag. 15.
(2) *Annali* suddetti, t. XXVII, pag. 279

col vetro mediante la fusione di questo all'intorno dei medesimi. Si riempie esattamente di liquido il ramo chiuso e s'introducono i fili reofori della pila nei due morsetti. Bentosto incomincia la decomposizione, e i gas sviluppati s'innalzano nel tubo chiuso, essendone ad ogni istante misurato il volume. La pressione dei gas eguaglia la barometrica durante lo sperimento meno o più la differenza delle colonne liquide nei due tubi. Comunemente si prende il minuto primo per unità e l'energia della corrente è espressa dal numero dei centimetri cubici di gas sviluppati in tal tempo. Affinchè lo sviluppo non sia ritardato dalla polarizzazione, converrà che il voltametro abbia gli elettrodi di platino coperti d'uno strato granulento.

1462. Ingrandendo la superficie degli elettrodi del voltametro si accelera la decomposizione dell'acqua e si ha uno sviluppo più abbondante dei gas, quando però si abbia una corrente proporzionale all'ampiezza della via, che percorre transitando pel liquido. Il professore Gazzeri ha costrutto un apparato, col quale si opera più celeremente ed abbondantemente la decomposizione, e si ottengono i gas separati in appositi recipienti (1). L'apparato del fisico italiano è una specie di truogo fatto con due lastre di vetro delle dimensioni di centimetri 16 per 12, disposte e ritenute parallele alla distanza di 4 millimetri l'una dall'altra mediante tre pezzi di vetro riuniti con cemento (fig. 390). Due foglie di platino *efgh* di centimetri 11 per 6 sono rispettivamente applicate alle pareti interne, e l'apparecchio è incassato sopra un basamento di legno *rs*. Due fili di platino a traverso il vetro sono in congiunzione colle foglie, le quali sono separate da brandelli di mussolina *lmno*, che dividono la capacità in due compartimenti. L'uno di questi comunica per tal modo col recipiente A graduato in centimetri cubi, e l'altro col recipiente B egualmente diviso. Il piccolo tubo D incurvato a sifone serve a procurare la sortita dell'acqua a misura che si raduna nel truogo abbassandosi dai recipienti A, B, dove entrano i due gas ossigeno ed idrogeno.

Mettendo i due fili *p*, *p* in comunicazione colla pila, incomincia la decomposizione su tutti i punti delle foglie di platino ed i due gas si radunano rispettivamente nei recipienti A, B. Il liquido è contemporaneamente intaccato sopra una grande estensione da una moltitudine di fili di corrente, che partono da ogni punto delle foglie di platino.

1464. Col voltametro si dimostra che gli effetti chimici del piliere

(1) *Bibliothèque universelle* di Ginevra, del 1821, t. XVI, pag. 117 e 307

variano secondo la grandezza delle piastre ed il numero delle coppie. Gay-Lussac e Thénard hanno istituito parecchie sperienze per determinarne il rapporto. Operando con due pile ciascuna di 20 coppie, che avevano le loro superficie nel rapporto di 1 a 19,7, hanno trovato che i gas sviluppati nel medesimo tempo da ambedue in tre sperimenti successivi avevano in volume il rapporto di 1 a 20,61, vale a dire che gli effetti chimici erano prossimamente nel rapporto delle superficie delle piastre.

In quanto al numero delle coppie si deduce dalle loro esperienze che gli effetti chimici sono, entro certi limiti, in ragione della radice cubica del numero medesimo. Un elettromotore dunque formato di 8 coppie somministrando 2 centimetri cubici di gas, lo stesso accresciuto a 27 coppie ne svilupperebbe 3 nello stesso tempo. Da ciò si deduce che per ottenere maggior effetto sarà meglio dividere la pila di 27 coppie in 3 di 8 ed una di 3, giacchè dall'azione contemporanea delle prime tre pile si avrebbero 6 centimetri cubi di gas più quello svolto per l'azione della pila di 3 coppie. Si avrebbe cioè più di 7 centimetri cubi di gas, ossia un effetto maggiore del doppio. Dunque gli effetti chimici della pila non solo crescono colla conducibilità del liquido interposto alle piastre, ma ben anche colla grandezza delle piastre e colla tensione.

1464. Tutti i corpi composti, quando sono invasi dalla corrente elettrica, si separano nei loro elementi trattati nel modo richiesto dalla loro natura. L'acido cloridrico è facilmente decomposto dalla pila, trasportandosi il cloro all'elettrodo positivo e l'idrogeno a quello negativo. Lo sviluppo dei due gas riesce più abbondante quando nell'acido si scioglie del sal comune, che ha pure per componente il cloro. Se si lascia sfuggire il gas, si sente un odore sensibilissimo di questo gas.

Non tutti gli acidi si separano così facilmente nei loro elementi come il cloridrico. L'acido nitrico concentrato è buon conduttore dell'elettrico e, sottoposto all'azione della corrente, cede l'ossigeno all'anodo senza alcuna apparenza di gas al catodo. Si ha però dell'acido nitroso e dell'ossido d'azoto, che si sciolgono nell'acido e gli danno il colore giallo o rosso. Allorchè l'acido nitrico è mescolato con acqua, si scorge del gas al catodo. Esaminando la quantità di questi prodotti col voltametro, si trova che in ogni caso l'ossigeno e l'idrogeno hanno la proporzione dei componenti l'acqua, per cui questo liquido solo è decomposto. L'acido solforico puro non è elettrolizzabile, mentre l'acido idroiodico si comporta come il cloridrico, radunandosi

il iodio all'anodo. Altri acidi sono cattivi conduttori e, dovendoli sciogliere nell'acqua, danno dei risultati complessi.

1465. I sali e gli ossidi si decompongono pure sotto l'azione della corrente voltaica. Si versi nell'apparato di decomposizione una soluzione di nitrato di rame o d'argento, di solfato di rame o di ferro, la corrente, provocata da una pila di 20 coppie o d'un numero molto minore, transita per essa, decompone il sale metallico, rimanendo l'acido all'elettrodo positivo e depositandosi il metallo sull'elettrodo negativo. Non tutti i sali si decompongono così facilmente per mezzo della corrente elettrica: quelli che hanno per base gli ossidi di rame, di zinco, di ferro, di piombo, di mercurio, d'oro, d'argento e di platino sono divisi nei loro componenti. all'opposto i sali di cromo, di nicolo, di cobalto ed altri non offrono vestigia sensibile di riduzione.

Si ottiene la decomposizione anche con minor numero di coppie della stessa pila, aiutando coll'affinità *la forza decomponente* dell'elettrico. Per tal modo il solfato di rame si decompone con pochissime coppie prendendo per anodo una lamina di zinco che, attraendo l'acido solforico, ne facilita la separazione dal solfato, e lascia libero il rame. Parimenti, impiegando l'acqua di cloro, la decomposizione di questo liquido colla corrente è facilitata in virtù dell'attrazione del cloro per l'idrogeno cui si unisce formando l'acido cloridrico, mentre l'ossigeno si porta all'anodo. Al catodo non vi ha sviluppo di gas quando il cloro sia in quantità bastante da impossessarsi di tutto l'idrogeno.

1466. Gli ossidi richiedono in generale degli elettromotori più potenti per essere decomposti nei loro elementi. Davy fu il primo a riconoscere nell'apparato voltiano un prezioso strumento per le analisi chimiche, impiegandolo nel 1807 nella decomposizione di corpi, che sino allora erano stati creduti semplici. L'esempio della separazione dell'acqua e di qualche altro corpo nei suoi elementi, suggerì al celebre Inglese una tale idea, che mandò ad effetto operando dapprima sugli ossidi alcalini soda e potassa, i quali con potente batteria voltaica vennero da lui divisi nei loro elementi, l'ossigeno è in una base particolare a ciascuno di natura metallica, alla quale diede il nome di sodio e di potassio. L'ossigeno si raduna sull'elettrodo positivo e la base metallica a quello negativo del pilero. I due metalli hanno affinità così grande per l'ossigeno che ritornano tosto a combinarsi a questo gas al momento, in cui ridotti vengono al contatto dell'aria, e lo levano ben anche all'acqua se si opera in mezzo a questo liquido. Sopra una lamina di platino in comunicazione col reoforo

positivo d'una pila di 130 in 150 coppie, collocava Davy della potassa leggermente inumidita per renderla conduttrice. Metteva poscia il reoforo negativo a contatto colla potassa, e ben presto comparivano al catodo numerosi globi di potassio, i quali s'infiammavano producendo getti luminosi. Quei metalli non si possono conservare che in liquidi, di cui non fa parte l'ossigeno, come nella nafta e nel petrolio rettificato composti d'idrogeno e di carbonio. Seebeck ha amalgamato il metallo ridotto dalla corrente col mercurio collocato al polo negativo del piliere, da cui poscia lo estraeva per mezzo della distillazione nel vapore di petrolio. La scoperta di metalli, che s'impossessano con sì gran forza dell'ossigeno, ha indotto lo stesso Davy a supporre che i medesimi esistano nelle viscere del globo. Venendo essi a contatto con l'acqua e con altre materie ossigenate, producono tutti gli effetti vulcanici conosciuti, con grande sviluppo di calorico. Secondo quest'ipotesi il calore centrale del globo avrebbe origine al momento della combinazione (§. 1143).

Il felice successo dell'applicazione di Davy forma un'epoca importante per la scienza, giacchè con esso si riconobbe l'efficacia dell'elettromotore voltiano come strumento chimico. Molti altri corpi furono in seguito decomposti in consimile maniera mediante il piliere di Volta, e gli ossidi con le terre unitamente agli alcali, che si credevano corpi semplici, si scoprirono sotto l'azione della corrente elettrica composti d'ossigeno, che si raccoglie all'anodo, e d'una base che si porta al catodo. In tal maniera la calce, la barite e la stronziana si riscontrarono ossidi metallici differenti. La silice, l'allumina, la zirconia e la glucina, quantunque più difficili a decomporsi, si separarono però nei loro elementi con potenti elettromotori voltiani. Parecchi altri ossidi furono trattati nell'egual modo e si riconobbero come tali. Uno dei più facili ad essere decomposto è l'ossido d'argento. Si giunse così a stabilire meglio la natura degli acidi e dei sali, i quali come abbiam veduto, provano pure gli effetti del potente strumento inventato dal grande Italiano. Volta però, sin dall'anno 1800, aveva già conosciuto l'importanza del suo apparato per le analisi dei corpi: infatti, scrivendo egli in quell'epoca al professore Brugnatelli e comunicandogli alcuni fenomeni chimici, gli faceva osservare come l'elettrico fosse un nuovo *prodigioso agente chimico* (1).

1467. Molti altri corpi si decompongono sotto l'azione della cor-

(1) *Collezione delle opere ecc.* t. II, parte 2ª, pag. 147.

rente elettrica, come i cloruri, i solfuri, gli ioduri, i bromuri ecc. In parecchie di queste decomposizioni hanno luogo dei fenomeni complessi, che dipendono dalla presenza dell'aria e da altre circostanze, e che spetta alla chimica d'esaminare nelle sue indagini con l'apparato voltiano considerato come potente strumento per le analisi dei corpi. Noi ci limiteremo qui a far conoscere in qual modo colla corrente elettrica si cambia il colore delle tinture, come si è fatto coll'elettricità ordinaria (§. 1458).

Si prenda un tubo di vetro incurvato alla foggia di U e si riempia di soluzione neutra di cavolo, la quale è d'un delicato colore turchino sommamente sensibile all'azione degli acidi e degli alcali, venendo dai primi cambiata in rosso e dai secondi in verde. In ambidue i rami del tubo s'introducano sino presso l'incurvatura i reofori di platino della pila. Ben presto ha incominciamento la decomposizione, e si osserva, al lato del reoforo positivo, che la tintura diventa rossa, ed al lato opposto verde. Quando questi colori sono comparsi ben distinti, si cambino le posizioni dei fili polari, mettendo il positivo nel ramo del tubo dove prima era il negativo ed all'inverso: allora si dileguano e in seguito spariscono del tutto i colori rosso e verde ai due lati, e la tintura riacquista il primitivo colore turchino. Prolungando l'azione della corrente, si converte in verde la porzione di soluzione che prima era rossa ed in rosso quella ch'era verde. Il fenomeno sembra che avvenga non solo in virtù della decomposizione dell'acqua solvente, ma ben anche della tintura stessa ne' due suoi componenti, l'uno alcalino e l'altro acido: il primo radunandosi al polo negativo cambia il colore ceruleo della tintura in verde e il secondo passando al polo positivo la trasforma in rosso.

1468. Tutti gli effetti chimici sono accompagnati, come si è veduto, da effetti meccanici di trasporto di materie ponderabili ai due poli del piliere. S'istituirono delle sperienze per arrestare queste materie, e dei tentativi per impedire all'elemento dell'acqua, l'idrogeno, di passare al polo negativo. A tal fine si è versato di quel liquido in due bicchieri, in uno dei quali pesca il reoforo positivo e nell'altro il negativo della pila, stabilendo la comunicazione del liquido nei due vasi mediante un cilindro metallico, od un conduttore umido, ed anche per mezzo d'un pezzo di carne animale o di ghiaccio; si è veduto sempre che al polo negativo comparisce l'idrogeno, mentre a quello positivo si manifesta l'ossigeno. Secondo il modo con cui viene interpretata la decomposizione dell'acqua da Grotthus (§. 1450), modo che d'altronde era già stato molto prima avanzato da Fourcroy e da

Volta (1), l'idrogeno deve camminare per l'arco conduttore che mette in comunicazione i due bicchieri. Nel caso del conduttore umido o del pezzo di carne o di ghiaccio, che contengono naturalmente dell'acqua, l'interpretazione succitata è ancora facile ad essere compresa; ma nel caso dell'arco metallico, l'idrogeno, abbandonato dall ossigeno dell'acqua al polo positivo, deve congiuntamente all'elettrico transitare sul metallo per portarsi al polo negativo.

Allo scopo di decidere una tale questione e di riconoscere se veramente gli atomi dei componenti siano trascinati dall'elettrico ai poli, si è sciolto nell'acqua un sale, dove si faceva pescare il reoforo positivo, mentre l'altro reoforo s'immergeva nella sola acqua del secondo bicchiere. La comunicazione dei due bicchieri è fatta per mezzo di fili d'amianto inumiditi. Se la soluzione è di sale comune o cloruro di sodio, il cloro si mostra al polo positivo mentre al negativo comparisce della soda. Si ponga la soluzione salina fra due altri bicchieri contenenti dell'acqua pura coi quali comunica mediante l'amianto inumidito, e s'immergono in ciascuno dei vasi estremi i reofori della pila. La corrente transita pel sale e lo decompone portandosi il cloro nel bicchiere dove pesca il reoforo positivo e la potassa in quello dove s'immerge il reoforo negativo. In questo ultimo sperimento vi ha dunque trasporto d'ambidue i componenti, e si riconosce che l'elettrico agisce con tale energia sui medesimi da vincere la loro affinità e trasportarli al rispettivo polo del pilaere. Adoperando il nitrato d'argento, la decomposizione ha pure luogo portandosi l'acido al polo positivo, mentre particelle d'argento ridotto si scorgono sull'amianto che conduce al polo negativo.

Il trasporto si fa con tale energia che i componenti attraversano ben anche dei mezzi, con cui hanno grande affinità senza esserne arrestati. Nel bicchiere di mezzo si ponga una soluzione d'ammoniaca mentre in uno degli estremi si versa dell'acqua pura dove s'immerge il reoforo positivo e nell'altro della soluzione di solfato di potassa, nella quale pesca il reoforo negativo. La decomposizione del sale di potassa ha luogo, l'alcali rimane nel recipiente del polo negativo, mentre l'acido solforico si porta al positivo attraversando l'ammoniaca senza combinarsi con essa. Quando la corrente sia debole e l'alcali intermedio abbia grande affinità coll'acido e non sia in soluzione, allora questo può essere arrestato nel suo passaggio, come avviene quando l'acido solforico incontra la barite. Se nel recipiente di mezzo si contiene una

(1) *Collezione delle opere* ecc., t. II, parte 2ª, pag. 291.

tintura vegetabile sciolta nell'acqua, l'acido o l'alcali portato dalla corrente elettrica non produce nel transitare per essa verun cambiamento di colore.

1469. Le correnti termelettriche sono molto deboli e per ciò non atte per gli effetti chimici. Il prof. Botto con una serie termelettrica fatta di fili di platino e di ferro è giunto ad ottenere la decomposizione dell'acqua. I fili avevano la lunghezza di 27 millimetri e il diametro di $^1/_4$ di millimetro, e la pila componevasi di 120 coppie, le cui saldature erano alternativamente riscaldate e raffreddate (1). Antinori deve aver poco dopo ottenuto il medesimo risultato, rinforzando la corrente col metodo dell'induzione (§. 1442). Del resto gli effetti chimici colle correnti termelettriche riescono con minore difficoltà, sottoponendo alla loro azione dei corpi più facili dell'acqua ad essere decomposti, come il nitrato d'argento e il ioduro di potassio, ed aiutando la forza elettrica con quella d'affinità nel modo dichiarato (§. 1465).

1470. Le correnti elettriche, oltre decomporre, producono nuovi composti, come succede degli elementi i quali, dopo separati, si combinano cogli elettrodi o con materie sciolte nel corpo che subisce la decomposizione. Si è in tal modo che, decomponendo una soluzione d'acido solforico con un pezzo di carbone come anodo, si ha dell'ossido di carbonio o dell'acido carbonico in virtù dell'ossigeno, che allo stato nascente agisce sul carbone. Si versi in un recipiente di vetro del mercurio e sopra questo liquido dell'ammoniaca concentrata, ed un filo di platino o di ferro, a contatto col mercurio, attraversi il vetro e si congiunga col reoforo negativo del pila, mentre quello positivo s'immerge nell'ammoniaca alla distanza di qualche centimetro dal mercurio. In principio si sviluppa un gas al polo positivo e poscia se ne sviluppa anche dal mercurio, il quale si gonfia, prende l'apparenza fungosa aumentando di cinque in sei volte di volume. Quest'effetto ha indotto Berzelius a supporre che l'ammoniaca avesse per componente una base metallica, detta da lui ammonio, che si unisce al mercurio al pari del potassio nella decomposizione della potassa.

Molti altri fenomeni di questa specie presentano le correnti elettriche, per le quali si disgregano degli elementi, che si uniscono ad altre materie e danno luogo a nuovi composti. Corpi differenti si tro-

(1) *Notizie sull'azione chimica delle correnti termelettriche*. Torino, gennaio 1853.

vano a combaciamento sul nostro globo e costituiscono sovente dei circuiti, nei quali si generano delle correnti elettriche deboli bensì ma continue, che danno luogo a decomposizioni ed a nuovi composti. È appunto, in virtù di queste azioni lenti e continue, che nella geologia si spiegano tanti fenomeni di disgregazione e di formazione di nuovi composti, che costituiscono il nostro globo.

Per queste correnti lenti e continuate, sostanze aeriformi si combinano e danno luogo ad una specie di assorbimento di gas. Faraday osservò che, per l'azione degli elettrodi polarizzati, scomparivano i gas ottenuti dalla decomposizione dell'acqua. La scomparsa dei due fluidi aeriformi succede per la formazione dell'acqua come nella pila a gas, colla sola differenza che nel caso del voltametro la corrente è prodotta dagli elettrodi polarizzati mentre nella pila a gas la corrente stessa proviene dalla facoltà elettromotrice dell'idrogeno e dell'ossigeno disposti in differenti capacità ed agenti l'uno sull'altro coll'intermedio del platino (§ 1367). È una conseguenza degli stessi principii il consumo dell'ossigeno dell'aria, prodotto da una pila in attività rinchiusa sotto un recipiente di vetro. Alla medesima categoria sembra che appartengano i fenomeni dell'incandescenza del platino immerso in un'atmosfera d'idrogeno e d'ossigeno (§ 1187). Se la mescolanza dei due gas è in proporzione differente da quella necessaria a formare l'acqua, allora la combinazione succede lentamente. Quanto più è sottile la foglia di platino tanto più l'azione componente è grande, in causa che le molecole dei due gas esercitano a minore distanza una forza elettromotrice più energica. Avvolgendo la foglia ad un cilindro di vetro, non succede l'effetto per non poter i due gas costituirsi in circuito elettromotore. L'elettrico, per la sua azione chimica o calorifica, disturba talvolta semplicemente lo stato di aggregazione degli atomi: si è in tal modo che il diamante, in virtù di correnti energiche, perde il suo stato cristallino e si trasforma in carbone ordinario (1). Infine diremo che Fusinieri in una lunga serie d'osservazioni ha mostrato come in virtù dell'elettrico si ossidano internamente le coppie di rame e zinco saldate, che compongono la pila voltaica (2).

1471. Faraday fece passare per un voltametro a la corrente elettrica e la ripartì poscia avviandola per due altri voltametri b, b': in tal modo la somma delle correnti che passano per b, b' eguaglia la

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVI, pag. 287.
(2) *Annali* suddetti, t. XXXII, pag. 24 e 118.

corrente che passa per a. Osservò la quantità dei gas sviluppati nei tre strumenti, e trovò che quella in a eguagliava la somma dei gas ottenuti in b, b'. Con una serie di sperienze di questa specie l'autore dimostra che la quantità d'elettrico tradotto in corrente riesce proporzionale alle quantità delle materie decomposte. Sottoponendo differenti materie all'azione della corrente, esse sono decomposte in quantità proporzionali ai loro equivalenti chimici, ossia alle quantità di materie differenti per combinarsi a saturazione. Becquerel, misurando la corrente anche al galvanometro, è giunto a risultati analoghi (1). Si è per tal principio che la corrente elettrica può servire a rinvenire gli equivalenti chimici. Di questa corrispondenza fra gli effetti chimici e l'intensità della corrente non si saprebbe dar ragione nella teorica del contatto, mentre è una conseguenza di quella delle due forze.

Dalle sperienze di Faraday risulterebbe altresì che la quantità dei gas, prodotti da una corrente elettrica durante un'unità di tempo, è sensibilmente indipendente dall'estensione degli elettrodi, dalla loro natura e da quella del liquido, dove sono immersi quando non ne siano intaccati. Quest'indipendenza vale nella supposizione che in ogni caso sia tradotta l'eguale quantità d'elettrico in corrente; giacchè, se per la poca ampiezza degli elettrodi tutto il fluido non passa pel voltametro, è chiaro che con elettrodi di maggior estensione, che danno passaggio all'intera corrente, la decomposizione sarà più abbondante. È appunto per ciò che col voltametro di Gazzeri si ha uno sviluppo maggiore di gas (§ 1462). Del resto, quando queste condizioni siano adempiute, l'esperienza dimostra che parecchi voltametri, posti l'uno in seguito all'altro ed attraversati dalla medesima corrente, somministrano nello stesso tempo sensibilmente eguale quantità di gas.

Servendosi della medesima pila, la quantità dei gas ottenuti dalla decomposizione dell'acqua diminuisce a misura che si aumenta la lunghezza del reoforo. Morse infatti (2), adoperando una pila alla Grove di 100 coppie, ha trovato che la corrente in un minuto dava centimetri cubi 85,20, e passando per un filo di chilom. 1,61 (1 miglio inglese) la produzione dei gas nello stesso tempo diventava centim. cubi 63,10, per un filo di chilom. 6,44 (4 miglia) si riduceva a centimetri cubi 19,66; per un filo di chilom. 16,1 (10 miglia) a cen-

(1) *Traité de l'électricité et du magnétisme* ecc., t. III, pag. 248 e t. V, parte I, pag. 257.

(2) *Annali di fisica* ecc. [illegible], t. XVI, pag. 19.

timetri cubi 9,34, per un filo di chilom. 48,3 (30 miglia) centimetri cubi 3,25, e per un filo di chilom. 80,5 (50 miglia) cent. cubi 1,54. Poggendorff ha esaminato le decomposizioni elettro termiche (1), e Botto ed Avogadro la relazione che passa fra la conducibilità dei liquidi per le correnti elettriche e la loro decomposizione chimica che ne risulta (2).

1472. Per quanto la materia sia sottoposta agli agenti della natura e divisa in minutissime particelle, non si giunge mai al suo annichilamento, e gli atomi sono bensì dispersi, ma raccolti potrebbero comporre la materia di prima (§. 155). Nella stessa maniera le *forze* non si estinguono, ma si riproducono sotto altri esponenti di forza, quali sono la luce, il calore, l'elettricità e il magnetismo, ed è perciò che si sono distinte le forze immediate da quelle mediate o secondarie (§. 185). La forza muscolare mette in movimento il disco della machina elettrica, e questo moto si trasforma in forza elettrica, la quale fa muovere i pendoli dell'elettrometro, l'ago del galvanometro, genera luce, calore e magnetismo, che producono alla loro volta altri effetti. Dalla corrente elettrica d'una pila di 100 coppie si ha un arco luminoso abbagliante: se questa corrente si conduce prima per un voltametro a decomporre dell'acqua acidulata, la luce dell'arco diminuisce essendo porzione della corrente impiegata nella decomposizione, e se l'acqua è pura la produzione dei gas è minore, per cui l'arco luminoso perde meno del suo splendore essendovi meno forza impiegata in altra azione.

1473. A misura che le scienze progrediscono si scoprono nuovi vincoli fra le cause e gli effetti. Nello stesso modo si definiscono meglio delle idee che si confondevano in una sola. Inventata la pila da Volta, i suoi punti estremi presero il nome di *poli* l'uno positivo e l'altro negativo, che si distinsero poscia dai *reofori* (§. 1351) e questi dagli *elettrodi*, chiamandosi *anodo* quello da cui sbocca la corrente e *catodo* l'altro pel quale esce (§. 1377). Si denominarono altresì *elettroliti* quei corpi, i cui elementi sono segregati dalla corrente (§. 1357), ora aggiungiamo che *elettrolizzare* significa decomporre un corpo per mezzo della corrente, ed *elettrolizzazione* è la decomposizione stessa operata per mezzo dell'elettrico. L'acqua, l'acido cloridrico sono dunque elettroliti, mentre l'acido nitrico e solforico non sono

(1) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, serie 2ª, t. II, pag. 71.

(2) *Memorie della Regia Accademia delle scienze* di Torino, serie 2ª, t. I, pag. 179; ed i suddetti *Annali*, serie 1ª, t. I, pag. 79.

ridotti nei loro elementi e non si comprendono quindi in tale categoria.

I vari elettroliti sono composti di due corpi di natura elettrica diametralmente opposta. L'acqua infatti è formata d'idrogeno, corpo eminentemente positivo, e d'ossigeno corpo eminentemente negativo, lo stesso è dell'acido cloridrico, dove l'idrogeno è il corpo positivo e il cloro il negativo. L'acido solforico invece consta di solfo e d'ossigeno, due corpi elettro-negativi, quantunque il secondo più del primo; e l'acido nitrico contiene l'azoto che è un corpo neutro. Operando colla corrente sopra la soluzione di nitrato o d'acetato di piombo servendosi di elettrodi di platino, si ottiene all'anodo del perossido di piombo in conseguenza dell'azione dell'ossigeno, risultante dall'acqua, sull'ossido di piombo del sale in soluzione. I metalli ridotti si portano generalmente al catodo, e se la corrente opera eziandio sull'acqua della soluzione di sale metallico, l'idrogeno si dirige al catodo coll'ossido metallico ed aiuta la riduzione del metallo, che comparisce puro al catodo medesimo. In generale l'ossigeno e il cloro si radunano all'anodo, mentre l'idrogeno e il potassio si portano al catodo, e se il corpo è un sale, l'acido comunemente resta all'anodo e la base si dirige al catodo. Tuttavolta bisogna usare qualche riserva nel decidere della natura dei corpi, che nell'elettrolizzazione si portano agli elettrodi, potendo accadere per circostanze particolari qualche alterazione. Una forte soluzione d'ammoniaca, che è cattivo conduttore, trasmette meglio la corrente sciogliendo in essa del solfato d'ammoniaca. Operando mediante la pila su questo composto si ottiene dell'azoto all'anodo e dell'idrogeno al catodo, che sembrano indicare la decomposizione dell'ammoniaca. Servendosi però del voltametro l'idrogeno si trova in quantità che denota come se l'acqua fosse stata decomposta, mentre l'azoto non conserva un rapporto costante. Sembra dunque che l'azoto sia un risultato secondario dipendente dall'azione chimica dell'ossigeno nascente sull'ammoniaca, per cui anche l'acqua è decomposta. Faraday osserva che non conosce veruna sperienza istituita sull'acido nitrico od altro composto d'azoto, dove questo elemento mostri una tendenza a passare all'uno od altro elettrodo sotto l'azione della corrente. Si hanno altri esempi di risultati secondari operando, per es., sull'acetato di potassa, si riconosce all'anodo un miscuglio aeriforme di ossido di carbonio e d'acido carbonico, mentre al catodo si rinviene dell'idrogeno puro, e se la soluzione è un poco più debole si ha dell'idrogeno carbonato.

1474. L'elettrico esercita il suo potere sulla natura organica e dà luogo agli effetti fisiologici. La scintilla elettrica, ricevuta più volte

di seguito sul nodo d'un dito o del gomito o sopra altra parte nuda del corpo, produce una specie di puntura e fa diventar rossa la pelle, che si solleva a foggia di glandola. Qui intendiamo parlare soltanto di scintille provocate dalle machine elettriche comuni, poichè le scariche delle grandi machine, come quella di Harlem, riescono moleste. Queste scintille cagionano un colpo troppo violento ed un dolore troppo forte per la maggior parte delle persone. Quando le scintille del conduttore balenano alla distanza di 2 in 3 centimetri, non si prova che una lieve puntura, ma a quella di 6 in 7 la sensazione si diffonde nel braccio e dà luogo a moti involontari. Alla distanza di 16 in 20 l'effetto si estende sino al petto e tutto il corpo sente uno scuotimento, il quale ci avverte di non protrarre più a lungo l'esperienza.

1475. Sulla fibra nuda si ha una sensazione dolorosissima anche quando le scintille del conduttore balenano a breve distanza, oppure si provocano da una boccia di Leida debolmente caricata o da una pila composta soltanto di qualche coppia. Per far provare all'animale, come un uccello od un quadrupede, l'effetto della più lieve scarica elettrica si mette a nudo, con un'incisione sul dorso, la fibra rovesciando dai lati la pelle, si scopre altresì qualche muscolo della coscia, e si applica su ciascuna ferita una foglia di stagno (1). Ciò disposto, basta dirigere la scarica dall'una all'altra ferita per avere i moti e gli sbalzi colla più lieve dose d'elettrico. Si ha un effetto consimile infiggendo in due parti del corpo uno spilletto d'oro a contatto della fibra nuda, sui quali si fa passare la scarica ben anche d'una sola coppia voltaica. Per esperimentare nella scuola può servire l'apparecchio formato di due colonnette o tubi di vetro piantati sopra un'assicella, ciascuno dei quali porta un tappo di sovero per conficcarvi facilmente degli spilloni introdotti nelle estremità d'una rana o d'una lucertola, che si dispone così a penzolone fra i due sostegni (2). Dirigendo la scarica pel corpo dell'animale, tutte le sue membra entrano in convulsione, anche quelle che non trovansi sulla via diretta. Nei quadrupedi l'elettrico è sensibile più d'ogni altra parte sul nervo ischiatico e nelle rane sul nervo crurale (*Collezione* citata, pag. 88).

Facendo passare la scarica elettrica pei differenti organi d'un animale, come per gli intestini e i canaletti sparsi nel suo corpo, si osservano dei movimenti particolari differenti dalle commozioni ordinarie.

(1) *Collezione delle opere di Volta*, t. II, parte 1ª, pag. 103.
(2) Lo stesso tomo delle *Opere di Volta*, pag. 88.

1470. *Le rane*, per la loro somma sensibilità allo stimolo elettrico, furono il germe da cui nacque la pila, bastando una scarica assai debole per iscuotere e far provare delle convulsioni ad una viva ed intera, massime alle sue gambe posteriori dirigendo l'elettrico dalla testa ai piedi o viceversa. Troncata la testa e conficcato uno spillo od un uncinetto metallico nella spina dorsale, è sufficiente per farla convellere una scarica ancor più debole diretta per lo spillo lungo il corpo dell'animale. Levando alla rana tutto il corpo e ritenendo le sole gambe posteriori attaccate alla spina dorsale od a porzione di essa pei soli nervi diligentemente snudati, come nelle sperienze originarie di Galvani (§ 1343), si producono delle contrazioni gagliardissime nei muscoli con un'elettricità incomparabilmente più debole e solo sensibile agli elettroscopii a pagliuzze od a foglietta e talvolta impercettibile a questi strumenti. Se poi s'investe con foglia metallica il tronco di spina dorsale ed anche una porzione dei nervi, si risentono prodigiosamente con un'elettricità affatto impercettibile all'elettrometro a foglietta, essendo necessario il condensatore per averne indizi. Da queste differenti indagini fatte da Volta si deduce la somma sensibilità della rana pel trascorrimento dell'elettrico, il quale riesce meno pronto quando il corpo dell'animale è intero per disperdersi in esso a scapito della porzione che transita pei nervi e pei muscoli delle gambe. La proprietà elettroscopica della rana risiede dunque nei nervi e nei muscoli; i primi sono i motori, per cui bisogna investirli coll'elettrico per produrre le contrazioni nei muscoli (1). E per ciò che la commozione è più facile quando la scarica entra pei nervi e passa pei muscoli (§ 1343).

Volta, nelle sue sperienze ed indagini, ha mostrato che i muscoli volontari, quelli flessori ed estensori degli arti risentono facilmente le contrazioni, non solo [illegible] deve lo stimolo elettrico agisce immediatamente su di essi, ma ben anche e forse meglio ove agisca sui nervi che vanno ad impiantarsi nei muscoli e che sono i veri nervi del moto. I muscoli non volontari all'incontro, come quelli degli intestini, del cuore e simili, più difficilmente e poco risentono lo stimolo elettrico applicato ben anche immediatamente sopra di essi, e niente poi ove venga applicato ai soli loro nervi. In generale, quando l'elettrico passa per qualche nervo inserviente al moto, finchè vi ha un residuo di vitalità i muscoli e le membra dipendenti dal nervo stesso si convellono.

(1) *Collezione* succitata, t. II, parte 1ª pag. 179 e 181.

Marianini (1) e Nobili (2) hanno studiato con grande diligenza l'effetto dell'elettrico sulla rana dirigendo la scarica dalla testa ai piedi cioè operando con *corrente diretta*, oppure introducendola dai piedi alla testa cioè con *corrente inversa*. Se l'animaletto è di recente preparato, si scuote colla corrente diretta come coll'inversa, tanto all'atto che si compie quanto al momento che s'interrompe il circuito. A misura però che la rana va perdendo della sua vivacità, le contrazioni acquistano dei caratteri particolari e le differenze dipendono dalla direzione della corrente. Le contrazioni si manifestano forti nel compiere il circuito e deboli nell'interromperlo, quando la corrente è diretta; ed appariscono nell'interrompere e mancano nel compiere il circuito, quando è inversa. Si giunge poscia ad un periodo in cui colla corrente diretta le contrazioni sono ancor forti nel compiere e nulle nell'interrompere il circuito; mentre con quella inversa si manifestano soltanto nell'interruzione e per nulla nel componimento del circuito. Indebolendosi ancor più la vitalità della rana, le contrazioni compariscono soltanto al compiere il circuito colla corrente diretta e nell'interromperlo quando è inversa. Dopo qualche tempo non si hanno che al compiere il circuito colla corrente diretta, ed infine non si manifestano più contrazioni operando in qualunque maniera. In ogni caso non si ha verun effetto durante tutto il tempo che transita la corrente. Volta poi aveva trovato che una rana, dopo lasciata per circa mezz'ora nel circuito della pila, non si scuote più sotto l'azione della medesima corrente tanto nel compiere che nell'interrompere il circuito, mentre riescono le commozioni dirigendo la corrente in contrario verso. Quest'ultimo effetto si collega col principio delle pile secondarie (§ 1377). Da tutto ciò si apprendono delle norme per ottenere le contrazioni anche con una debole corrente, quando l'animale è molto affaticato.

1477. Si è incidentemente più volte parlato della scossa prodotta dall'elettrico sul corpo umano, e si è anche considerato come più persone possono riceverla dalla boccia di Leida (§ 1312); ora esaminiamo il fenomeno come effetto fisiologico. La scossa consiste in una specie di urto che si prova nel medesimo istante in parecchie parti del corpo, per dove l'elettrico transita, riuscendo esso molto sensibile nelle articolazioni ed al petto. Per avere la scossa dalla scarica della boccia di Leida è necessario che il torrente elettrico sia

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XL, pag. 225.
(2) Gli stessi, t. XLII, pag. 60 e *Memorie ed osservazioni* ecc., pag. 131.

trasmesso tutto unito sopra l'individuo, che deve riceverla, per cui bisogna provocare la scarica con un buon conduttore qual è un cilindro metallico. Scaricando la boccia ed anche la batteria di Leida con un cilindro di carta, con un fazzoletto, con una fune di canapa, o con altro corpo cattivo conduttore, non si prova veruna scossa. Quando deve essere diretta contemporaneamente sopra una catena di persone, non solo queste devono essere ben congiunte colle loro mani bagnate onde facilitare per esse il passaggio dell'elettrico, ma bisogna che riposino sopra cattivi conduttori (§. 1312). Si è in tal maniera che, dopo averla esperimentata in un circuito composto di parecchie persone, se ne fece provare contemporaneamente l'effetto ad un intero reggimento di soldati.

Una boccia di Leida di decimetri quadrati 2,60 d'armatura non è capace di dare la scossa anche ad una sola persona quando è carica alla tensione che non oltrepassi i 2° dell'elettrometro a pagliuzze od $^{1}/_{6}$ di grado dell'elettrometro fondamentale di Volta (§. 1255). Essendo la tensione di poco maggiore di 5° dell'elettrometro a pagliuzze, non si ha la scossa se, nell'arco conduttore, vi abbia una piccola interruzione anche di qualche millimetro, dove si trovi un coibente come l'aria od un conduttore imperfetto come un foglio di carta asciutta, la cute umana, la pelle d'un animale, l'epidermide d'una pianta. L'effetto della scossa si accresce toccando il globetto della boccia con una verga metallica impugnata con una mano e pescando coll'altra nell'acqua salata contenuta in un vaso, dove trovasi immersa la boccia colla sua armatura esterna.

La scossa dell'apparato di Leida è più o meno forte secondo la sua capacità, dipendente dalla grandezza dell'armatura e dalla sottigliezza del vetro, e secondo la tensione cui è caricata. Essa riesce alle persone di fibra delicata una sensazione spiacevole, che cercano d'evitare dopo averla provata una volta. Una scossa però prodotta da una semplice boccia comune non reca verun danno alla macchina animale, che se il vetro armato ha una grande capacità può cagionare qualche danno, e si richiede molta robustezza nella persona per sostenere quella d'una batteria di 11 in 12 decimetri quadrati d'armatura, come si è notato (§. 1310).

La boccia di Leida si potrebbe disporre alla porta d'una casa in modo che colui, il quale tentasse di aprirne la serratura col grimaldello, facesse arco di congiunzione fra l'armatura esterna, in comunicazione colla soglia su cui riposa, e l'armatura interna che comunicherebbe colle braccia al girare del grimaldello medesimo. Proverebbe

così con molta sorpresa una scossa da distoglierlo forse dalla sua impresa. In tal caso sarebbe anche meglio di dirigere la scarica per una pistola di Volta (§. 1447) e dare così avviso del ladro agli abitanti della casa.

1478. Dalla scarica del conduttore della machina elettrica si può pure avere la scossa, presentando al torrente elettrico una via molto ampia e conduttrice per mettersi in equilibrio sulla terra, come sarebbe un grosso filo metallico che mettesse capo nell'acqua d'un pozzo. In tal maniera la scarica si avvicina a quella della boccia di Leida, dove l'elettrico accumulato sull'armatura interna trova in quella esterna, allo stato negativo, il luogo dove tosto equilibrarsi. Il conduttore però deve avere una certa capacità, affinchè l'elettrico sia in dose sufficiente per dare la scossa. I conduttori secondari, aggiunti da Volta a quello della machina, si prestano, come si disse, al fenomeno della scossa (§. 1264).

Affinchè si abbia la scossa è necessario dunque che l'elettrico transiti riunito per la machina animale colla massima celerità, ed è perciò che non solo la scarica deve essere ricevuta da un buon conduttore, ma anche dissipata sopra grandi capacità. È questa la ragione della scossa generata nel contracolpo elettrico (§. 1278), e di quella risultante dall'accorrere l'elettrico a rimettere l'armatura esterna della boccia di Leida allo stato naturale (§. 1303).

1479. Per avere la scossa, bisogna che la pila comune sia composta almeno di 20 coppie rame-zinco oppure d'argento zinco; mentre con l'egual numero di coppie argento piombo, rame-stagno non si ha veruna commozione, siccome formate di metalli fra loro meno discosti nella scala voltiana (§. 1347). Allo scopo che le commozioni siano più distinte, è d'uopo accrescere il numero delle coppie, per avere la tensione necessaria alla propagazione della corrente a traverso le parti animali poco conduttrici. Le pile disposte secondo Grove e secondo Bunsen danno le scosse con minor numero di coppie di quelle comuni. Poche coppie a grandi piastre sono capaci di produrre dei grandi effetti calorifici (§. 1460) e chimici (§. 1465), mentre per la debole tensione riuscirebbero inefficaci alla generazione della scossa in una persona. Un piccolo animale, come una rana, congiungendo i poli d'un elettromotore a grandi piastre, sarebbe forse volatilizzato in virtù dell'azione chimica e fisica, ma quella corrente non produrrebbe veruna scossa in un grande animale. Una pila invece di 36 in 40 coppie di rame-zinco di quattro centimetro di diametro è sufficiente a generare in una persona la commozione, e con una composta

di 2000 coppie come quella di Davy (§ 1450) la persona sarebbe inevitabilmente fulminata.

La pila, per la debole tensione, richiede ancor più della boccia di Leida una via molto conduttrice (§ 1477), moltiplicando i punti di comunicazione della cute coi poli: per cui si attaccano dei cilindri di ottone ai reofori, che s'impugnano colle mani bagnate d'acqua salata. Si suole eziandio al medesimo scopo far pescare i reofori nell'acqua salata contenuta in due catinelle ed immergere nel liquido le mani oppure i cilindri impugnati colle medesime. La corrente dell'elettromotore si fa passare comodamente per le braccia e per altre parti del corpo colla disposizione proposta da Volta (1). Adoperava egli due pile d'un certo numero di coppie a piastre circolari, montate separatamente sopra un basamento fra quattro colonnette di vetro, e rinchiuse in un astuccio di latta. Le coppie erano tenute compresse mediante un cilindretto metallico a vite mobile nel centro d'un disco parallelo al basamento. Il cilindretto sporgeva sopra il coperchio dell'astuccio senza toccarlo e terminava in una palla pure di metallo; il fondo comunicava colla base dell'elettromotore. Prendendo quindi i due astucci, le mani si mettono in comunicazione colla base della rispettiva pila. I due elettromotori sono costrutti in ordine inverso: l'uno principia col rame e termina collo zinco, mentre l'altro principia con questo metallo e termina col rame. Mettendo a contatto i globetti delle due verghe superiori, si prova nelle braccia ed anche al petto una scossa corrispondente ad una pila eguale alla somma delle coppie rinchiuse negli astucci.

Si abbia già preparata una pila d'un gran numero di coppie: se ne congiungano 25 in 30 colle dita non bagnate e non si avrà la commozione in causa della poca conducibilità della cute. Aumentandone progressivamente il numero e bagnando le dita, la scossa diventa sempre più gagliarda e giunge al punto che non si può più sopportarla. In tal maniera si giudica del grado d'irritabilità delle persone, che si sottomettono alla prova.

1480. Allorquando la pila è appoggiata sul suolo per mezzo della sua base, la tensione al vertice è doppia di quando essa è isolata. In questo caso, tenendo a contatto una mano col polo inferiore e toccando coll'altra il vertice, la corrente elettrica si slancia con maggior forza, e si ha nel primo istante una scossa maggiore di quando la pila è isolata. Affinchè l'effetto sia gagliardo è mestieri però che il

(1) *Collezione ecc.*, t. II, parte 2ª, pag. 119 e pag. 146.

corpo intermedio alle coppie sia abbastanza conduttore per rimettere tosto il polo allo stato elettrico primitivo. Non togliendo le comunicazioni, l'effetto continua e le scosse si ripetono quando la corrente nell'interno della pila si propaghi con maggior rapidità che per le parti animali, le quali danno tempo al polo positivo di riprendere la tensione sufficiente alla produzione della scossa. In tal maniera le comunicazioni si ripetono a brevissimi intervalli, e in tali celeri ripetizioni succede una specie di tremore.

Se il conduttore intermedio è assai imperfetto, la pila acquista bensì la tensione proporzionale al numero delle coppie, ma l'elettrico non invade tutto ad un tratto il corpo animale e non lo scuote per la ragione che dall'interno della pila non accorre nuovo elettrico a compensare la quantità che abbandonerebbe il polo positivo. Una pila formata di 200 e più coppie rame-zinco, separate con lamine di nitrato di potassa (salnitro) o con istrati di colla di farina, mostra all'elettrometro una tensione maggiore d'altra pila fatta soltanto di 30 eguali coppie, il cui conduttore intermedio sia acqua salata; tuttavolta la prima non dà la scossa, mentre la si ottiene distinta dalla seconda. E per l'egual ragione che le pile a secco, composte ben anche di 1000 a 1500 e più coppie, non manifestano veruna scossa anche alle persone di fibra la più delicata. Con pile di questa specie ad elementi di grande estensione riuniti in numero di 200, Zamboni è giunto bensì ad ottenere una levissima scossa ed anche degli effetti calorifici; egli però nella costruzione di queste pile adoperava della colla mescolata con un poco di miele per impedire l'essiccamento della carta intermedia alle coppie, e lasciava scorrere soltanto due o tre giorni per averle sensibilmente asciutte in un giorno d'estate non dei più secchi (1).

1481. Trascorrendo l'elettrico sopra un conduttore, hanno luogo delle scintille, ove trovansi delle interruzioni; ed egualmente succede quando transita per gli spazi, che dividono le membra del corpo umano e formano le articolazioni necessarie ai diversi movimenti. In quei passaggi si genera un urto somigliante a quello per l'aria (§. 1425), da cui ha origine, come si disse, la scossa (§. 1477). In tale urto l'elettrico tende ad allontanare ed a stirare i legamenti delle articolazioni e vi produce un subitaneo e violento distendimento, che è causa del dolore, da cui la scossa è accompagnata. Il dolore infatti riesce maggiore nelle articolazioni ed allo stomaco.

(1) *Elettromotore perpetuo*, t. II, pag. [illegible] e pag. 27[illegible].

Le due scosse, *galvanica* e *di Leida*, hanno bensì qualche analogia nei loro effetti senza però essere del tutto identici. La sensazione, che accompagna la scossa galvanica, è del pari disaggradevole e penosa come l'altra, principalmente agli individui dotati di fibra delicata, ma il suo colpo non è così violento e brusco, nè l'azione non è così momentanea come la scossa di Leida. L'azione galvanica consiste piuttosto in una serie di piccole scosse, che si succedono con somma rapidità e generano una specie di tremore nelle membra della persona, da cui è ricevuta. La scossa galvanica può essere pure provata come quella di Leida da più persone, che si stringano colle mani bagnate e formino un arco non interrotto, che congiunga i poli della pila. Ma, per la debole tensione della pila e l'imperfetta conducibilità delle materie animali, le persone intermedie ricevono una scossa minore di quelle estreme, mentre colla boccia, quando siano isolate, la provano tutte egualmente (§. 1312). Nella boccia di Leida l'elettrico è accumulato sopra un'armatura e trovando una strada conduttrice, si slancia tosto in massa a rimettersi in equilibrio, mentre l'altra armatura in difetto si restituisce pure allo stato naturale (§. 1311). Nella pila invece, all'atto che si fa arco di comunicazione fra i due poli, si offre bensì all'elettrico la via per passare dall'uno all'altro polo, ma per la trasmissione si richiede il tempo necessario al cambiamento d'equilibrio in tutti gli elementi della pila nel momento stesso che si cambia in quello del polo positivo. Ecco la ragione per cui succede una serie di scosse prodotte da parecchie scariche successive e rapide, e non l'unica scarica della boccia di Leida. La gagliardia della scossa della pila si accresce per ciò aggiungendo al polo positivo un lungo filo piegato a spira, il quale, caricandosi, offre dell'elettrico per rendere maggiore l'effetto della prima scarica anche per l'induzione che ha luogo su ciascuna spira (§. 1371). L'elettromotore per induzione (§. 1372) dà delle scosse continuate in virtù di correnti che si succedono dirette in contrario verso. La pila ha il vantaggio sulla boccia di Leida che si carica da sè, e che l'azione succedendosi continuamente è atta alla produzione dei fenomeni fisici e chimici, mentre la boccia di Leida si presta meglio in virtù della tensione per gli effetti meccanici.

1482. Un altro effetto fisiologico dell'elettrico è il *sapore acido* od *alcalino*. Si prendano due lamine, l'una d'argento e l'altra di zinco, e si pongano rispettivamente a contatto colla parte superiore ed inferiore della lingua. Sintanto che le due lamine sono fra loro disgiunte, non si prova veruna sensazione particolare, ma dopo la loro con-

giunzione, si manifesta il sapore acido sulla punta della lingua se è a contatto collo zinco, ed alcalino se tocca l'argento. La coppia argento-zinco coll'umido della lingua sviluppa la corrente elettrica, per la quale succede la decomposizione degli umori, radunandosi l'ossigeno coll'acido sull'elemento positivo zinco, e l'idrogeno o la sostanza alcalina su quello negativo argento. Se i nervi dell'apice della lingua corrispondano col o zinco, si prova quindi il sapore acido, ed alcalino se corrispondono coll'argento. Ora si comprende come Volta da quest effetto fisiologico giudicasse della direzione della corrente (§. 1349). Egli ha fatto rivivere quest'antica sperienza, che si trova citata nell'opera di Sulzer *Teoria del piacere* stampata nell'anno 1767, e se ne è servito abilmente per le indagini da cui è stato gu dato all'invenzione del suo celebre elettromotore.

L'effetto si ottiene anche coll'elettrico ordinario inviluppando l'apice della lingua con una piccola foglia di stagnuola in comunicazione con sottilissimo filo metallico a contatto del bottone d'una piccola boccia di Leida: si prova il sapore acido od alcalino secondo che la boccia è caricata positivamente o negativamente. Appartiene a questa classe di effetti il sapore che si prova nel bere dei liquori in tazze metalliche (§. 1370).

1483. I nervi dell'odorato provano, nelle scariche elettriche principalmente per conduttori imperfetti, una sensazione particolare somigliante a quella dell'idrogeno solforato. Quest'effetto fisiologico è certamente dovuto ad esalazioni, che succedono in virtù delle decomposizioni dei corpi prodotte dall'elettrico. Schonbein ha studiato quest'odore particolare e, dalle molteplici sue sperienze, è venuto a conchiudere dipendere dalla separazione degli elementi dell'azoto, che egli considera composto d'idrogeno e d'un principio odoroso chiamato *ozono* (1). Operando colla pila, l'ozono si raduna al polo positivo e quindi l'odore particolare si sente soltanto a quel polo. Volta aveva tentato di eccitare direttamente coll'elettrico, provocato dal pilière, il senso dell'odorato. Ha fatto agire altresì la corrente sul senso dell'udito, dapprima inutilmente, avendone poscia ottenuto per effetto una specie di sordo rumore prodotto forse da piccolissime scintille (2).

1484. Importando a Volta di dimostrare che l'elettrico, nelle sperienze di Galvani, non era proprio degli animali ma risiedeva nei metalli, scoperse come per la corrente si manifestasse direttamente

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XVI, pag. 127.
(2) *Collezione delle opere* ecc. t. II, parte 1, pag. 164 e parte 2, pag. 126.

all'occhio l'effetto d'un *chiarore*. Si serviva egli di due metalli dissimili, di zinco e di rame (1), applicando il primo sul bulbo d'un occhio inumidito con alcune gocce d'acqua salata, e il secondo sull'altro occhio pure inumidito: al momento che si mettono a contatto le due lamine metalliche, si scorge ad occhi chiusi un chiarore simile a quello delle scintille. Questo fenomeno è pure generato dalla corrente che agisce direttamente sui nervi ottici, dove la più debole luce elettrica riesce sensibile. Il chiarore, che si chiama anche *baleno galvanico*, sembra diverso secondo la direzione della corrente: essendo rosso pel polo positivo applicato all'occhio e violaceo per quello negativo. Colle pile a secco si ottiene pure il fenomeno del baleno galvanico.

1485. Con forti scariche elettriche si uccidono degli animali, che si dispongono a tal fine sullo scaricatore universale e si dirige la scarica nel modo altrove indicato (§. 1314). Serve eziandio una larga lastra di vetro ben asciutta, su cui si obbliga mediante fili di seta l'animaletto facendone comunicare i piedi posteriori coll'armatura esterna dell'apparato di Leida, mentre si pone il globetto d'un ramo dello scaricatore sulla testa e si accosta quello dell'altro ramo, al cilindro dell'armatura interna. Importa in ogni caso che le comunicazioni siano fatte colla pelle nuda, ed è per ciò che bisogna levare il pelo o le penne in quei luoghi, per dove deve passare la scarica. Si opera altresì attaccando l'animaletto ad un ramo dello scaricatore per le coscie dei piedi in comunicazione colle armature esterne della batteria, mentre se ne porta la testa denudata a contatto col globo delle armature interne. Esperimentando in tal maniera con batterie di 6 bocce di Leida, che presentava 26 decimetri quadrati d'armatura caricata con macchina elettrica ordinaria, ho colpito un passero che soccombette poco dopo alcuni minuti. Priestley uccise un sorcio colla scarica di due giare ciascuna di decim. quad. 27,87 (3 piedi quad.) o complessivamente di decim. quad. 55,74 d'armatura. L'animale morì ben tosto dopo aver provato delle violente convulsioni. Avendolo dissecato, non trovò nel suo interno veruna lesione, nè travasamento di sangue. Egli è giunto altresì ad uccidere un gatto colla scarica d'una batteria di decim. quad. 306,57 (33 piedi quad.) d'armatura, avendo riscontrato niun altro effetto che una macchia rossa sul pericranio al sito ove entrò il torrente elettrico. Cercò di richiamarlo in vita, coll'attivare artificialmente la respirazione, ma inutilmente. Il cuore batteva ancora qualche tempo dopo la fulminazione, la respirazione

(1) La stessa *Collezione*, t. 40, part. 1, pag. 165 e parte 2, pag. 121.

però era all'istante cessata. Priestley diede pure la morte ad un topo campagnolo colla scarica d'una batteria di dec. quad. 334,44 (36 piedi quad.) d'armatura (1).

Allorquando gli animali, che sono colpiti da grandi scariche elettriche, non soccombono colla morte provano un singolare tremore nelle membra ed una stanchezza muscolare, che degenera talvolta in paralisi. Alcuni vogliono che la morte sia cagionata dalla distruzione dell'irritabilità del cuore e delle arterie, e quindi dalla cessazione della circolazione del sangue, giacchè, quando la scarica non passa per quei visceri, si ha per effetto soltanto la paralisi dei muscoli colpiti. Altri opinano invece che la morte nasca piuttosto da soffocazione, in causa d'un'espansione improvvisa e violenta che tronca la respirazione. Con una pila di 200 in 300 coppie si producono eguali effetti. Si osserva in generale che gli animali uccisi in causa dell'elettrico passano ben presto in putrefazione.

1486. Gli effetti fisiologici dell'elettrico si fanno sentire eziandio sui vegetali. In generale si vuole che quel fluido favorisca la vegetazione accelerando la circolazione degli umori destinati alla vita di quegli esseri organici, nello stesso modo che accelera il flusso dei liquidi pei tubi capillari (§. 1428). Maimbray infatti, avendo elettrizzato due mirti, osservò che ramificarono e gettarono fiori molto più presto d'altri arbusti consimili lasciati allo stato naturale (2). La germinazione dei grani sarebbe pure accelerata sotto l'influenza dell'elettrico, secondo le sperienze di Nollet, di Gardini, di Bertholon ed altri. Pare eziandio che sia accelerato lo sviluppo dei bulbi delle cipolle, e dei giacinti dentro vasi pieni d'acqua elettrizzata. Senebier, Decandolle e qualche altro non hanno trovato invece verun acceleramento sensibile in virtù dell'elettrizzazione. Davy, nella sua *Chimica agraria*, giudica una tale influenza come assai probabile, ritenendo solo che il germogliamento avvenga molto più presto nell'acqua in comunicazione col polo positivo della pila, mentre nessuna influenza esercita quello negativo. Dalle sperienze di Becquerel poi risulterebbe che i grani, i bulbi e simili, all'istante in cui germogliano, godono della proprietà più o meno distinta di generare un acido, per cui un germe qualunque sarebbe un apparecchio elettro-negativo. Questi risultati condurrebbero alla conseguenza che l'elettrico deve avere gran parte nella vegetazione; tuttavolta si richiederebbero delle os-

(1) *Histoire de l'électricité*, tradotta dall'inglese, 1771, t. III, pag. 31[illegible].
(2) *Histoire de l'électricité* [illegible], t. I, pag. 260.

servazioni dirette ed istituite in diverse circostanze, perchè la semplice congettura dovesse diventare una verità di fatto nelle grandi elaborazioni della natura. Il prof. Giulio (padre) ha trovato che l'elettrico della pila eccita le foglie della mimosa sensitiva e di altre piante della stessa specie.

1487. L'elettrico, per la sua azione sui corpi organici, è stato applicato con felice successo come mezzo terapeutico in parecchie malattie. Ad un animale, reso asfitico, può essere tosto ridonata la facoltà della respirazione mediante l'elettrico. S'immerga un coniglio in un'atmosfera d'acido carbonico, e dopo ben anche qualche quarto d'ora che è rimasto asfitico, si sottoponga all'azione d'una pila di 18 in 20 coppie mettendo nel circuito la lingua e qualche altra parte nuda del picco o animale: tosto fatte le comunicazioni, esso si scuote, riprende la respirazione ed esercita di nuovo le funzioni della vita. Abbiamo indicato quest'esperienza per la scuola, essendo scopo nel resto dell'arte medica e della fisiologia d'occuparsi di questa specie d'indagini. In parecchie malattie si è trovato efficace l'elettrico e principalmente in quelle che nascono da stupidità di parti e da ristagno d'umori. Al nascere della scoperta, Volta ha cercato di adoperare il suo elettromotore a vantaggio dei sordi e muti (*Collezione*, t. II, parte 2ª, pag. 282). Lasciamo al medico ed al fisiologo di considerare in tutta la sua estensione l'uso dell'elettrico a vantaggio dell'umanità travagliata da malori, limitandoci qui a fare conoscere le diverse maniere d'applicare quel mirabile agente.

1488. L'elettricità si amministra in diverse maniere, di cui si adopera l'una o l'altra secondo la specie di malattia, la delicatezza dell'organo e la sensibilità della persona su cui deve agire. Andremo qui annoverandole per ordine.

1. *Per scintillazione*. Bisogna distinguere la scintillazione negativa dalla positiva. La fisiologia fa conoscere che, per l'azione efficace su certi organi e principalmente sul sistema nervoso, non è indifferente adoperare l'una o l'altra maniera. Si ha la scintillazione negativa quando si sottrae elettrico dal corpo. A tal fine la persona sale sopra lo sgabello isolatore ed è posta in comunicazione col conduttore della machina elettrica a disco di vetro mediante un filo od una catenella di metallo. Accostando l'eccitatore alla parte ammalata dell'individuo, ne balenano delle scintille, che si succedono ad intervalli continuando a girare il disco della machina. La scintillazione positiva si ottiene scaricando dal medesimo conduttore l'elettrico sulla persona, che è in comunicazione col suolo.

II. *Per iscossa semplice* La scossa semplice si ottiene nello stesso modo aggiungendo però al conduttore una o più bocce di Leida, secondo la gagliardia della scarica che si desidera. Nel primo caso, ossia per la scossa negativa, lo scaricatore comunica coll'armatura esterna dell'apparato di Leida; per la scossa positiva è la persona che comunica coll'armatura esterna in quella parte del suo corpo pel quale si vuole far uscire la scarica elettrica. La scossa si applica con una pila di Volta, la quale deve essere per lo meno di 35 coppie, comprendo ed interrompendo tosto il circuito per non lasciare luogo ad agire la corrente, che produce un effetto contrario a quello della scossa.

III *Per iscosse alternate in contrario verso.* A questo scopo serve l'elettromotore per induzione (§. 1372), col quale si possono alternare le scosse nell'una o nella contraria direzione con sorprendente rapidità. Questo metodo non riesce utile per quelle affezioni morbose, le quali non ammettono che debba essere variata la direzione del torrente elettrico, che produce la scossa.

IV. *Per corrente voltaica.* È necessaria la pila, la quale si compone di un numero più o meno grande di coppie a norma della delicatezza dell'organo su cui deve agire. Si dovrà aver riguardo altresì alla direzione della corrente che non è indifferente il farla agire piuttosto nell'uno che nell'altro verso.

V. *Per corrente immediata.* Una sola coppia, avente per conduttore intermedio l'organo stesso, dà immediatamente la corrente. Questo metodo si usa per gli occhi e per altre parti delicate del corpo mediante combinazioni dei due metalli dissimili da poter essere comodamente applicate nei diversi casi.

VI. *Per pressione elettrica.* Questo metodo consiste nell'elettrizzare la persona collocata sullo sgabello isolatore ed immergerla così in un'atmosfera d'elettrico, la quale agendo sull'aria circostante reagisce sul corpo della persona, come se fosse premuto da una forza esterna. Si vuole che sotto tale azione si aumenti la traspirazione insensibile ed in generale le secrezioni, come pure si acceleri la circolazione del sangue.

VII. *Per bagno elettrico.* In un ambiente, a pavimento ed a pareti coibenti, si elettrizza l'aria per mezzo di punte in comunicazione colla machina a disco di vetro nel modo indicato (§. 1287). La persona entra in quell'aria e si trova immersa come in un bagno di elettrico, di cui prova gl'influssi.

VIII. *Per soffio elettrico.* Un cilindro di metallo, introdotto in tubo

di vetro, termina ad un estremità in punta ed all'altra in anello, pel quale è posto in comunicazione col conduttore della machina a disco L'elettrico sfugge sotto forma di fiocco dalla punta, al quale si accosta la parte del corpo che prova l'effetto del soffio elettrico.

IX *Per frizzo elettrico* Si fa salire la persona sopra lo sgabello isolatore e si tocca la parte morbosa del suo corpo col bottone d'una boccia di Leida caricata, la quale produce una specie di puntura o frizzo, che si ripete sino alla scarica totale dell'apparato, e si eseguisce più volte, secondo il bisogno, rinnovando la carica della boccia. Si ottiene lo stesso effetto isolando la boccia e stando la persona in comunicazione col suolo: ad ogni toccamento del bottone si ha il frizzo. Le *fregagioni elettriche* appartengono a questo metodo: s'inviluppa il globetto d'un ramo dello scaricatore con un brandello di pannolano, oppure si sostituisce un globetto di legno secco a quello di metallo e, mentre l'altro ramo è in comunicazione col suolo, si sfrega col globetto sulla parte morbosa del corpo della persona posta sullo sgabello isolatore e comunicante col conduttore della machina coll'aggiunta ben anche di qualche boccia di Leida Si eseguisce eziandio la fregagione lasciando riposare sul suolo la persona, su cui si porta il globetto dello scaricatore in comunicazione colla machina elettrica. Invece dello scaricatore si è adoperata la *spazzola elettrica*, munita di manico isolatore ed elettrizzata: sfregando con essa sulla parte morbosa, si ha una moltitudine di piccoli frizzi elettrici, che si sono trovati efficaci nelle paralisie, nelle affezioni reumatiche e nervose.

X. *Per elettro-puntura*. Una spilla d'oro o di platino s'infigge nella parte inferma, e si mette in comunicazione col conduttore della machina elettrica mediante un filo di metallo. L'elettrico entra per la punta nella parte affetta da malore, vi desta una vibrazione e la mette in orgasmo, pel quale si giunge a distruggere il morbo. Qualche medico assicura di aver usato con felice successo questo metodo nella cura della podagra, dei reumi e delle affezioni nervose, e di averlo trovato più efficace dell'ago-puntura, che esercita un'azione semplicemente mecanica. Si può far uso della pila invece della machina a stropicciamento

XI *Per trasporto di materia ponderabile*. La corrente elettrica del piliere separa i componenti dei corpi, radunando l'ossigeno e le sostanze ossigenate ed acide al reoforo positivo, e l'idrogeno e le sostanze alcaline a quello negativo. Se trattasi dunque d'introdurre un dato medicamento nell'interno della machina umana, basta di sottoporre all'azione della corrente elettrica il corpo, che ha per componente il

medicamento stesso e che, nell'essere separato dall'elettrico, si porta ad un polo del pilere. Fabré-Palaprat lesse nel giorno 13 maggio 1833 una Memoria all'Accademia delle scienze di Parigi, nella quale dà conto dei risultati ottenuti e dei vantaggi che ne può ritrarre la medicina da tale metodo. Supponiamo che si voglia introdurre l'iodio: si prende un ioduro che si applica per es. sul braccio destro dell'ammalato e si pone a contatto con esso il reoforo negativo della pila, mentre l'altro reoforo comunica col braccio sinistro. L'ioduro si decompone, e l'iodio si porta dal braccio destro al reoforo positivo comunicante col braccio sinistro attraversando il corpo dell'ammalato. Si è con questo metodo che l'autore ha operato con felice successo sopra un individuo affetto da sarcocele e sopra un altro travagliato da febbre quartana, l'uno e l'altra renitenti a qualunque altro metodo, introducendo l'iodio nel tumore del primo, e il solfato di chinina nel basso ventre del secondo individuo.

XII. *Per istropicciamento immediato.* Si elettrizza infine una persona stropicciandola con una pelle di gatto o con altra materia nella maniera altrove indicata (§. 1236). L'efficacia delle fregagioni ordinarie, nella terapeutica, dipende non poco da tale cagione.

Nell'amministrare l'elettrico coi metodi surriferiti, si deve principalmente por mente che con alcuni di essi, come la scossa, la scintillazione ecc., si suscita nelle parti colpite un'irritazione ed un'eccitabilità; mentre con altri, come la corrente, si tende invece ad ammortirle ed in certo qual modo ad istupidirle. I primi riescono utili nei casi, dove si ha bisogno di risvegliare la vitalità, come nelle paralisi ed altre malattie consimili; i secondi in quei casi, che richiedono d'ammorzare un'eccessiva vitalità, come nel tetano, nei dolori spasmodici e simili. La direzione della scarica o della corrente, dal nervo al muscolo o all'inverso, deve pure essere regolata secondo la malattia.

1489. Da quanto si è esposto si deduce che l'elettrico esercita una grande azione sui corpi viventi. È naturale quindi di domandare se le funzioni della vita dipendano da combinazioni somiglianti a quella della pila, e se i corpi organici siano capaci per se stessi di dare sviluppo ad elettrico sensibile ai nostri strumenti? Secondo l'opinione di parecchi filosofi la risposta sarebbe affermativa, tanto più che si danno alcuni animali, i quali hanno la proprietà di scuotere nello stesso modo del pilere. La questione però è più fisiologica che fisica, e noi dobbiamo limitarci a quanto più direttamente si riferisce alla nostra scienza.

Notiamo in primo luogo che Donné, avendo infitto le estremità del filo del galvanometro in un frutto l'una dal lato del gambo e l'altra da quello dell'occhio, riscontrò una corrente di parecchi gradi, che variava in intensità e in direzione secondo la specie del frutto. Mettendo in comunicazione nello stesso modo la corteccia col midollo di una pianta, Wartman ha del pari veduto la deviazione dell'ago galvanometrico e quindi indizio della presenza di corrente. Quantunque queste deviazioni siano state verificate da altri sperimentatori, tuttavolta la maggioranza dei fisici non è concorde ad attribuirne la causa a correnti proprie del vegetale piuttosto che ad eterogeneità od a differenza di temperatura delle parti, con cui combaciano i capi del galvanometro.

1490. Nella rana, preparata alla maniera di Galvani e disposta colle estremità immerse in liquido contenuto in due tazze di vetro (fig. 328), Nobili ottenne le convulsioni all'atto che compieva il circuito mediante uno stame inumidito di cotone o d'amianto (1). Le convulsioni si ottengono per pochi minuti; in alcuni individui però durano per un quarto d'ora ed anche più. La rana perde ben presto la sua sensibilità prima che cessi in essa la forza elettromotrice, come si riscontra coi galvanometri molto sensibili, i quali, messi in congiunzione con rana preparata da lungo tempo, indicano ancora la presenza della corrente. In mancanza di galvanometro molto squisito, si prepari una rana di fresco e si compia il circuito dell'altra preparata molto prima ed incapace a dar indizio della corrente. All'atto che si congiungono i liquidi della prima rana per mezzo della seconda disposta omologamente, appariscono in questa delle convulsioni, che danno indizio di corrente, la quale manca se la seconda si colloca in posizione inversa. Nel primo caso le correnti riescono cospiranti e la forza risulta maggiore, nel secondo le correnti sono opposte e si elidono. Il fenomeno è chiamato da Nobili *corrente propria della rana*, il quale la crede però appartenente alla categoria delle correnti termoelettriche (*Memorie* ecc., pag. 152), mentre Volta, nelle sue indagini intorno alle sperienze galvaniche, l'attribuiva all'eterogeneità dei conduttori posti a contatto (§ 1350).

1491. Galvani separava una coscia col relativo nervo dal corpo della rana (fig. 391), metteva a contatto in due punti il *nervo reciso con carni staccate* (2) ed otteneva le commozioni senza l'intervento

(1) Memorie ed [illegible] pag. 1[illegible].
(2) *Supplemento* [illegible] nelle *Opere edite ed inedite* di Galvani, pag. 85 [illegible].

di verun metallo. Matteucci si è servito della rana così preparata come *elettroscopio*, ed ha portato a contatto, in due punti distinti del nervo, delle parti animali di recente recise, avendone ottenuto le commozioni. Egli distaccava da un piccione, da una rana, da un'anguilla o da altro animale vivo un pezzo muscolare, nel quale faceva un taglio dove introduceva l'estremità del nervo dell'elettroscopio e poscia metteva a contatto altro punto dello stesso nervo col pezzo muscolare, e ne aveva le contrazioni. Sembra dunque che nella parte muscolare esista una corrente elettrica, della quale siamo avvertiti per mezzo dei moti della rana, e che fu chiamata perciò *corrente muscolare*. Portando a contatto nell'egual modo, in due differenti punti, le estremità di platino del filo galvanometrico, succedono delle deviazioni nell'ago che danno pure indizio della presenza della corrente, la quale è diretta per la parte animale dall'interno del muscolo alla superficie. Le deviazioni però tosto diminuiscono e spesso l'ago ritorna a zero. Applicando di nuovo i fili del galvanometro, accade non sempre di ottenere ancora la deviazione, la quale, se si manifesta, riesce sempre minore e non di rado inversa dalla precedente (1).

Matteucci, sull'esempio di Nobili, ingrandisce la corrente congiungendo parecchi muscoli per avere così una specie di *pila animale* e deviazioni più distinte al galvanometro. A tal fine preparava alcune rane alla maniera di Galvani e ne separava le coscie, che tagliava trasversalmente in due parti. Le metà delle medesime, appartenenti alla porzione inferiore, erano poste a contatto e disposte omologamente l'una in seguito all'altra, in cavità corrispondenti praticate in una tavoletta di legno verniciato (fig. 392). Versando dell'acqua lievemente salata nelle cavità estreme ed immergendovi i due capi del galvanometro, si manifesta tosto la corrente che fa deviare l'ago di alcuni gradi. La deviazione risulta tanto più grande quanto è maggiore il numero degli elementi della pila animale: e se con 6 mezze coscie il galvanometro segna 10 in 12 gradi, con 4 ne segna soltanto 6 in 8 e con 2 la deviazione riesce di 3 in 4. Disponendo la catena di parti muscolari in linea curva per ravvicinarne gli estremi polari, si può compiere il circuito per mezzo del nervo della rana elettroscopica, la quale colle contrazioni dà indizio della corrente.

Si ottiene il fenomeno della corrente con pile formate di muscoli recisi da altri animali, come pesci, uccelli, mammiferi, purchè si dispongano omologamente a contatto l'uno in seguito all'altro. La dire-

(1) *Trattato sui fenomeni elettro-fisiologici degli animali* di Matteucci.

zione è costantemente dall'interno all'esterno della parte muscolare.

Le membrane, i nervi, il cervello, il fegato ed altri tessuti ed organi animali non mostrano verun indizio di corrente al galvanometro. Il cuore però, partecipando delle sostanze muscolari, dà segni di corrente, disponendone le parti nell'egual modo. I muscoli dunque degli animali sono dotati della proprietà di generare la corrente elettrica, la quale diminuisce tanto più rapidamente sino a scomparire del tutto quanto più l'animale, nella catena degli esseri, appartiene ad un posto elevato. Infatti le pile, formate con muscoli di rane d'anguille o di pesci, danno segni di corrente per un tempo molto più lungo di quelle costituite con muscoli di uccelli e di mammiferi. Inchiodando sopra una tavola delle rane vive e mettendo la gamba denudata dell'una a contatto coll'interno dei muscoli della coscia della rana seguente, Matteucci ha formato così una pila d'esseri viventi, da cui aveva la corrente diretta per l'animale dall'interno del muscolo alla superficie. In un modo somigliante compose altresì una pila con piccioni vivi. Il fisico italiano opina che *la corrente muscolare è dovuta alle azioni chimiche della nutrizione*. I differenti casi della corrente muscolare sono stati ridotti ad un solo principio fisiologico dal prof. di Berlino Bois-Reymond (1). Le indagini di lui tenderebbero a stabilire *l'esistenza d'eterogeneità elettromotrici sino nelle più piccole parti del muscolo*.

I principii stabiliti intorno alla corrente muscolare spandono qualche luce sul gran numero di sperienze istituite dopo le scoperte di Galvani e di Volta. Combinando per es. voltaicamente degli strati di muscolo e di cervello separati da corpo poroso imbevuto d'acqua salata, Humboldt ottenne segni di corrente. Appartengono a queste dottrine le *correnti elettro-fisiologiche*, tentate dapprima dai professori Puccinotti e Pacinotti, con stili di platino in comunicazione col galvanometro, infitti nel corpo di animali viventi, e poscia da altri fisici e fisiologi (2).

1492. La corrente muscolare è assai debole; esistono però alcuni animali dotati d'un organo particolare per lo sviluppo dell'elettrico, col quale sono capaci di dare delle forti scosse e di produrre gli effetti chimici e fisici, che si ottengono coll'elettricità ordinaria. Gli animali forniti di tale proprietà appartengono tutti agli acquatici, e sono parecchie specie di *torpedini*, il *ginnotto* ed il *siluro*, i quali si

(1) *Annali di fisica* ecc., più volte citati, 2ª serie, t. III, pag. 65 e 142.
(2) *Annali* suddetti, serie 1ª, t. IV, pag. 65.

comprendono sotto il nome comune di *pesci elettrici* (1). Molti fisici e fisiologi si sono occupati dell'anatomia e degli effetti dei pesci elettrici (2), la torpedine ed il ginnotto furono l'oggetto del maggior numero d'indagini. Gl'Italiani che studiarono i fenomeni della torpedine furono Lorenzini (3) e più recentemente i professori Linari con Matteucci (4) e Pianciani (5). Fra gli stranieri dobbiamo citare principalmente Walsh che pubblicò delle dotte osservazioni (6), e molto dopo Becquerel, Breschet e Giovanni Davy (7). Si occuparono poi del ginnotto Miranda e Paci sopra un bel individuo trasportato dal Brasile a Napoli (8) e principalmente Faraday sopra altro individuo trasportato a Londra (9). La torpedine si pesca facilmente nel mare Mediterraneo dove abbonda; ed il ginnotto, detto anche anguilla del Surinam, nelle acque dell'America Meridionale.

Per avere la scossa basta toccare il pesce colle mani in due punti diversi o con una sola mano, in questo caso si forma il circuito col mezzo del suolo e del liquido dove vive l'animale. La persona infatti, essendo collocata sopra un isolatore, non riceve la scossa quando tocca il pesce con una sola mano. Toccandolo con bastoni di ceralacca o cilindri di vetro in modo da interrompere il circuito, la scossa non ha luogo; mentre la si riceve con verghe metalliche. Dal ginnotto di Napoli nel 1845 io provai una scossa abbastanza forte sperimentando nella prima maniera. La scossa, provocata in tal modo dall'animale, può essere sentita contemporaneamente da parecchie persone riunite; in questo caso per avere un effetto sensibile bisogna far arco di comunicazione, per la torpedine fra il dorso ed il ventre, e fra le estremità pel ginnotto. La commozione data dai pesci elettrici è un fenomeno volontario, e non sempre la si prova toccandoli nel modo indicato. In questo caso è d'uopo irritare l'animale per indurlo a lanciare la scossa.

(1) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. XIX, pag. 157.

(2) Si vegga l'opuscolo del prof. Gherardi *Relazione ragionata sui fatti e le cognizioni più vere o interessanti ecc. intorno ai pesci elettrici prima della scoperta del galvanismo e della pila voltiana*. Bologna 1838.

(3) *Osservazioni intorno alla torpedine*. Firenze 1678.

(4) *Giornale arcadico*, t. LXX, pag. 50.

(5) *Giornale arcadico*, t. LIX, pag. 286, e *Memorie della società italiana delle scienze* 1841, t. XXII, come pure *Annali di fisica ecc.*, t. V, pag. 87.

(6) *Journal de physique*, t. IV, 1772, pag. 203.

(7) *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. IV, pag. 254 e seguenti.

(8) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. XX, pag. 225.

(9) *Transazioni filosofiche della R. Società di Londra*, volume del 1835.

Quest'effetto riesce più o meno forte secondo la volontà e lo stato del pesce, riuscendo esso sempre più debole quanto è maggior il numero delle scariche successive prodotte, talchè bisogna lasciarlo in quiete per un certo tempo onde riacquisti la facoltà di dare delle forti commozioni, che eguagliano quelle di una pila composta di 100 ed anche di 150 e più coppie. Nell'acqua le scosse hanno minore intensità che nell'aria, e l'azione riesce più gagliarda durante la calda stagione, in causa della maggiore attività nelle loro funzioni animali, che acquistano col calore. I pesci elettrici, quando hanno molta vivacità, producono la commozione anche senza toccarli agendo coll'intermedio dell'acqua, ed essi d'ordinario fulminano a distanza i pesci, di cui vogliono cibarsi. I pescatori della torpedine ricevono talvolta la scossa quando, per lavarla, le versano sopra l'acqua. L'animale, all'atto di colpire la preda, fissa gli occhi, sta per qualche tempo immobile, e poscia scaglia il colpo con un movimento particolare di contrazione nel corpo. Humboldt, nel suo viaggio in America, riferisce le abitudini dei ginnotti ed i mezzi che s'impiegano per pescarli. Nelle acque, dove si contenevano parecchi di quei pesci, si condussero dei cavalli selvaggi del paese, i quali ben presto diedero occasione ai ginnotti di sollevarsi alla superficie ed a somiglianza dei serpenti acquatici di gettarsi sul ventre dei cavalli lanciando su di loro parecchie scariche, che producono lo stordimento e talvolta la morte. « Non bisogna esporsi temerariamente, dice l'illustre viaggiatore, alle prime scosse d'un ginnotto assai grosso e molto irritato. Se mai si riceve la scossa avanti che il pesce sia ferito od affaticato, il dolore e lo stordimento sono così grandi che è impossibile esprimersi sulla sensazione, che si prova. Io non mi sovvengo d'aver ricevuto per mezzo d'una gran boccia di Leida una scossa così forte come quella che provai ponendo imprudentemente i due piedi sopra un ginnotto, ch'era stato appena levato dall'aqua. Io fui molestato il rimanente del giorno da un vivo dolore nei ginocchi e in quasi tutte le articolazioni. »

1493. Da questi fatti si sarebbe indotti a conchiudere che quei pesci sono dotati della facoltà di eccitare l'elettrico. Ma a confermare una tale deduzione vennero altri fatti, pei quali è messo fuori di dubbio l'azione elettrica della torpedine e del ginnotto ed anche del siluro. Primieramente diremo che si ottenne la scintilla facendo passare la scarica per fili metallici fissi con tappi di sovero a brevissima distanza dal mercurio, contenuto nella curvatura d'un tubo di vetro alla foggia di U. Si ottennero altresì le deviazioni nell'ago del gal

vanometro; e si magnetizzarono dei piccoli aghi d'acciaio nel modo stesso che si magnetizzano coll'elettrico, come apprenderemo nel seguente capitolo. Si produssero eziandio delle azioni chimiche decomponendo l'ioduro potassico, il nitrato argentico e l'acetato piombico, le cui soluzioni si contenevano in cassule di porcellana. Si sono ottenute delle tinte uniformi sui metalli alla maniera di Nobili, che quanto prima insegneremo. Col termometro elettrico (§ 1148), come pure con quello a spira (§ 1006), e col termomoltiplicatore (§. 1392) si sono avute prove di sviluppo di calore dalle scariche dei pesci elettrici. Linari accertò d'aver ottenuto dalla torpedine i segni di tensione e le correnti indotte. Col galvanometro e coll'elettroscopio a pila munito di condensatore, si è riconosciuto che nella torpedine il dorso presenta il polo positivo e il ventre quello negativo dell'organo elettrico, mentre nel ginnotto la testa è la parte positiva e la coda la negativa.

1494. Nell'infanzia della scienza il fenomeno dei pesci elettrici si spiegava con ipotesi più o meno vaghe. La scoperta della boccia di Leida fece pensare che quegli animali agissero in una maniera analoga e che avessero la proprietà di caricarsi da se medesimi. La pila di Volta portò in seguito nuova luce sul fenomeno, ed oggidì si vuole che da un organo somigliante abbia origine il fenomeno della scarica dei pesci elettrici. Volta sin al principio della sua invenzione aveva riscontrato in quei pesci un organo somigliante al piliere (1), che aveva perciò denominato *organo elettrico artificiale* (2).

L'organo elettrico della torpedine e del ginnotto fu in questi ultimi tempi soggetto di accurato esame dei dotti italiani e stranieri, e fra i primi si annoverano il prof. Savi (3), il prof. Calamai (4), e il professore Delle Chiaje (5). Dalle loro indagini sembrerebbe che un tal organo nella struttura e nelle apparenze abbia qualche analogia colla pila, e si è osservato che la scarica è sempre preceduta dalla contrazione animale. Come mai con scariche di così debole tensione possono quei pesci dare delle scariche di tanta gagliardia? Faraday ha posto a confronto la scossa prodotta dal ginnotto con quella della boccia di Leida, e secondo l'illustre Inglese l'effetto che si prova da quel

(1) *Collezione ecc.* t. II, parte 2ª, pag. 141 e 143 e pag. 252 e 270.
(2) *Collezione succitata*, nel medesimo volume, pag. 135.
(3) *Traité des phénomènes etc. et études sur la torpille*, di Matteucci e Savi.
(4) *Annali di fisica, chimica ecc.* più volte citati, t. XXII, pag. 71.
(5) Gli *Annali* medesimi, t. XXIX, pag. 172.

pesce sarebbe equivalente a quello d'una batteria di Leida di decim. quad. 226 d'armatura. Pianciani e dietro lui qualche fisico straniero opinano che ciò avvenga per induzione. Bisognerebbe però provare che le correnti indotte si sviluppino eziandio nei conduttori umidi o di seconda classe, come succede nei metalli. Dalle mie sperienze risulta che non si ha l'induzione nei liquidi per ottenere almeno una corrente capace della scossa (1). L'organo, appena separato da una torpedine vivace, ha presentato ancora i fenomeni elettrici, da cui si deduce che la circolazione del sangue non è direttamente necessaria alla produzione dei medesimi. Si è indagata l'influenza che il cervello della torpedine esercita sulla scarica elettrica. Irritando i lobi olfatorii come pure quegli ottici ed il cervelletto non si ha scarica, e queste tre protuberanze possono essere levate senza che la torpedine cessi di manifestare gli effetti elettrici. Si riscontra una quarta protuberanza, la quale, venendo toccata, ha per conseguenza la scarica e si è chiamata da Matteucci *lobo elettrico*. Tolto infatti questo quarto lobo, cessa la facoltà elettrica. Il ginnotto ha dimensioni molto diverse: quello trasportato a Napoli aveva la lunghezza di metri 1,08 (piedi 3 ¼), ed Humboldt nell'America Meridionale ne ha riscontrati alcuni della lunghezza di metri 1,71 (piedi 5 ¾), osservando però che se ne danno di quelli di met. 1,95 (piedi 6).

1495. L'elettrico non solo ha avuto delle applicazioni in riguardo agli effetti fisiologici, ma ben anche agli effetti fisici e chimici. Diamo un'idea di queste applicazioni.

La proprietà dell'elettrico di accendere il miscuglio d'idrogeno e d'ossigeno, oltre essere stata applicata da Volta alla costruzione di un accendilume (§ 1447), ha servito allo stesso fisico per uno strumento destinato a scoprire la quantità d'ossigeno contenuto in un dato volume d'aria atmosferica, imaginando il suo *eudiometro*. Sappiamo che l'aria è un miscuglio d'ossigeno e d'azoto (§ 726), e che d'altronde, combinandosi in conosciute proporzioni l'ossigeno coll'idrogeno, si forma l'acqua (§ 727). Volta, all'appoggio di tali principii, introduceva dati volumi d'idrogeno in un volume parimenti dato d'aria contenuto in recipiente di vetro graduato in centimetri cubi, e faceva scoccare a traverso il miscuglio la scintilla elettrica: l'ossigeno dell'aria si combina coll'idrogeno aggiunto e lascia per residuo l'azoto. Si giunge in tal maniera a stabilire il rapporto, con cui i due gas entrano a comporre l'aria proposta per l'analisi. Grove, appog-

(1) *Annali* suddetti, t. xii, pag. 249.

giandosi sullo stesso principio, ha disposto la sua pila a gas come mezzo audiometrico (§. 1367), osservando la quantità d'ossigeno che nell'elemento negativo della coppia si combina coll'idrogeno costituente l'elemento positivo.

1496. Si è mostrato come nei diversi casi i corpi sieno segregati nei loro componenti e come questi sieno trasportati dalla corrente elettrica ai rispettivi poli del piliere. Su questo principio si sono fondate parecchie arti, quali sono la *galvanoplastica*, l'*indoratura*, la *inargentatura* e simili, come pure la *metallo-cromia*, lo *spartimento dei metalli* ecc. Diamo un'idea di queste differenti applicazioni dell'elettrico.

La *galvanoplastica*, chiamata anche *elettrotipia*, consiste nel separare mediante la corrente elettrica il metallo contenuto in una soluzione ed a depositarlo sopra la superficie d'un dato corpo per averne la matrice, da cui con un nuovo deposito si ottiene la copia identica del corpo medesimo. Abbiasi per es. una soluzione di vitriolo azzurro o solfato di rame, per cui si fa transitare la corrente elettrica: l'acido solforico si raduna e si mescola col liquido posto all'anodo, mentre il rame ridotto si deposita sul catodo. Adoperando dunque per catodo il corpo di cui si vuol la matrice, per es. una medaglia, dei caratteri di stamperia e simili, il rame si deposita sul medesimo, va sempre ingrossandosi, sinchè se ne ottiene una forma solida coi rilievi e gl'incavi all'inverso. Ponendo di nuovo al catodo la forma, si modella su di essa il metallo ridotto della soluzione e se ne ottiene una copia perfettamente eguale alla medaglia, al carattere ed in generale al corpo da essere ritratto. La soluzione al catodo è tenuta separata da quella all'anodo mediante una membrana animale od altro corpo poroso.

Per ritrarre le copie di medaglie, monete e simili, serve il seguente apparato, che secondo i medesimi principii si può costruire con vasi in legno di maggiori dimensioni per fare delle copie dei grandi oggetti. L'apparecchio consiste nel recipiente di vetro, di porcellana o di legno AB (fig. 393), ed in un cilindro cavo od una specie di tamburo CD fatto della stessa materia, alla cui estremità è tesa la membrana animale che forma il fondo come d'un secondo recipiente. Nel primo vaso si versa la soluzione metallica, che si tiene continuamente satura coll'aggiunta di nuovi pezzi di solfato, nel secondo si contiene il conduttore liquido dove mette capo il reoforo positivo. Il corpo da essere modellato s'immerge nella soluzione di rame, dove si fa servire di catodo, mentre l'anodo comunica col liquido conduttore del

vaso CD. In alcuni casi conviene di servirsi del piliere composto di più coppie, ed in altri basta una semplice piastra di zinco, la quale forma una sola coppia congiunta mediante un grosso filo di rame col corpo da essere modellato. Lo zinco pesca nel liquido acidulato o salato del tamburo, mentre il corpo modello è immerso al disotto di esso nella soluzione del sale metallico. I due recipienti, così disposti, riposano sopra un basamento di legno, sul quale si erige una colonnetta che porta alla sommità l'ago calamitato, parallelamente al quale transita la corrente e colle sue deviazioni ne indica l'energia per regolarla al bisogno.

Il trasporto di materia ponderabile, da cui dipendono le arti della galvanoplastica, dell'indoratura, dell'argentatura ecc., è stato riconosciuto da Luigi Brugnatelli poco dopo l'invenzione della pila (1). Iacobi ha richiamato molto tempo dopo l'attenzione dei fisici su tale processo applicandolo alla galvanoplastica (2). Nello stesso modo si opera per incidere sul rame e sull'acciaio, avvertendo di metterne le lamine all'anodo dove si raduna l'acido della soluzione (3). In generale le operazioni galvanoplastiche si variano applicandole secondo il bisogno, su di che si possono consultare gli *Annali* suecitati, t. i, p. 110, e 174, t. ii, pag. 99 e 310, t. iii, pag. 325, 326 e 330, t. iv, p. 187 e 312; t. v, pag. 105, t. ix, 109, 212 e 325, t. xv, 229, t. xvii, 112, t. xxvi, 350, t. xxvii, 108 e 134.

Allo scopo di non sottoporre l'oggetto originale all'azione della corrente, se ne prende talvolta l'impronta col mezzo di lega facilmente fusibile, della stearina od altra materia plastica. Ricoprendone la superficie di sottilissimo strato di grafite applicato con una spazzola affine di renderla conduttrice, si mette come catodo nella soluzione per ricevere la deposizione del metallo da cui è costituita la matrice. Con un poco d'esercizio e coll'aiuto delle parecchie istruzioni pubblicate per le diverse manipolazioni, si acquista ben presto la pratica necessaria ad ottenere delle copie fedeli di qualunque oggetto.

1497. L'indoratura e l'argentatura è fondata sugli stessi principii della galvanoplastica. Queste arti come la zincatura ed altre consimili consistono nell'applicare uno strato o per così dire una specie di vernice metallica sopra altro metallo o corpo qualunque, dandogli

(1) *Annali di fisica ecc.* precedentemente citati, t. iii, pag. 215.

(2) I medesimi *Annali*, t. i, pag. 292.

(3) *Annali* suddetti t. ii pag. 312, e t. xv pag. 229.

per tal modo le apparenti proprietà del primo. Affine di comprendere il processo elettro chimico d'indoratura, si abbia una soluzione di cloruro d'oro, la quale, fatta attraversare dalla corrente elettrica, si decompone e l'oro puro precipita sul catodo. Prendendo quindi per catodo l'oggetto, esso si ricopre dello strato d'oro in tal modo precipitato e rimane indorato.

Sin dall'anno 1800 Brugnatelli fu il primo a precipitare l'argento, il rame, lo zinco ed altri metalli sopra superficie del pari metalliche, e quindi mostrò sino d'allora il processo elettro-chimico per inargentare, inramare, zincare e simili (1), e si servì poscia dello stesso processo proponendolo a vantaggio dell'industria manifatturiera. Egli lo pubblicò nel suo giornale, e venne riferito più chiaramente come una applicazione industriale in alcuni altri fogli italiani e stranieri, essendosi nel primo posto appunto sotto la rubrica *arti e manifatture* e col titolo di *Maniera d'indorare le medaglie e l'argento col galvanismo* (2). L'illustre italiano si serviva d'ammoniuro d'oro in soluzione, dove disponeva l'oggetto da essere indorato all'elettrodo negativo. Il metodo di Brugnatelli passò inosservato in mezzo alle vicende politiche di quei tempi, e da pochi anni, sull'esempio della galvanoplastica, fu fatto rinascere da De la Rive (3), il quale si serviva del cloruro d'oro, che non è preferibile all'ammoniuro di Brugnatelli. In questi ultimi tempi l'indoratura elettro-chimica come anche l'inargentatura fu perfezionata da parecchi sperimentatori (4), ed è ormai sostituita a quella a fuoco per mezzo del mercurio nei parecchi bisogni delle arti. Si fa uso della soluzione di cianuro d'oro, la quale dà l'indoratura più bella. Si opera in modo consimile per inargentare, platinare, stagnare, zincare, inramare e simili (5). Rap-

(1) *Annali di chimica, storia naturale* ecc. di L. Brugnatelli. Pavia 1800, t. XVIII, pag. 157, ed *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. III, pag. 215.

(2) *Biblioteca di campagna* ecc. di Gagliardo, t. X, pag. 183-180. Milano 1807, come pure *Philosophical Magazine* t. XXI. Londra 1805, e *Journal de chimie et de physique* di Van Mons, t. V. Bruxelles 1805.

(3) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. III, pag. 202 e 218.

(4) *Annali* suddetti, t. IV, pag. 318, t. VII, pag. 101 e 318, t. VIII, pag. 214, t. XI, pag. 197, t. XVIII, pag. 331, t. XIX, pag. 101, t. XXV, pag. 104. Pel cianuro d'oro si veda t. XV, pag. 221 e t. XXI, p. 112, e pel cloruro t. XIX, p. 221; pel cianuro d'argento t. XXVI, pag. 210.

(5) I medesimi *Annali*, t. III, pag. 216 e 217, t. IV, pag. 305, t. VIII, p. 102, t. IX, pag. 112, t. XIII, pag. 115, t. XV, pag. 102 e 105; t. XVI, pag. 580, t. XXI, pag. 101 e 214, t. XXII, pag. 99 e 217 e 108, t. XXIII, pag. 100 e 323, t. XXIV, pag. 195, 201, 203 e 326, t. XXVII, pag. 305.

porto alla soluzione più propria per l'applicazione della verniciatura metallica, si deve avere in mira che il metallo sia unito ad un elemento molto elettro-negativo, da cui sia facile ad essere separato per combinarsi con qualche componente del liquido solvente.

1498. La corrente elettrica è stata altresì applicata a precipitare sul catodo due metalli ad un tempo per comporre delle leghe. La lega più difficile ad essere ottenuta coi metodi ordinari è quella di ferro e piombo, ecco come si opera in questo caso col processo elettro-chimico. Ad una dissoluzione di piombo nell'acido nitrico, si aggiunga altra soluzione di coparosa verde o di protosolfato ferrico, il quale miscuglio, con certe avvertenze, si usa per precipitare la lega sul catodo (1). Con metodi consimili Ruolz ha composto la lega di bronzo; Iacobi e Fusinieri quella d'ottone, ed altri fisici qualche lega differente (2).

1499. La *metallocromia* è l'arte di fissare su alcuni metalli dei veli o strati sottilissimi di materie colla corrente elettrica; talchè quei veli, facendo l'ufficio delle lamine sottili nell'ottica (§. 828), danno i colori più belli e più variati. La lamina di platino, d'acciaio ed anche d'altro metallo s'immerge nella soluzione contenuta in una tazza di porcellana; su di essa si dirige la corrente elettrica, la quale invade il metallo, decompone la soluzione e forma sulla superficie metallica il velo nominato. Per operare nei diversi casi serve l'apparato della fig. 394 con una pila di 8 in 10 coppie. La punta di platino è distante circa millim. 1,5 dalla lamina metallica e pesca nella soluzione, che ha l'altezza di 5 in 6 millimetri sul fondo del vaso. Mettendo in comunicazione la punta col polo negativo e la lamina con quello positivo della pila, la corrente incomincia il suo corso e si formano sul metallo, nel sito corrispondente alla punta, una serie di anelli colorati consimili a quelli prodotti nella diffrazione.

Nobili si occupò molto di questi fenomeni, che chiamava *apparenze elettro-chimiche*. Variando le soluzioni e il metallo della lamina, giunse ad ottenere dei disegni uniformi diversamente colorati, i quali per la bellezza delle tinte, per la precisione dei contorni, attirarono a sè gli sguardi dei dotti italiani e stranieri. Egli ha chiamato l'arte di colorire le lamine, per mezzo di tale processo, col nome di *metallocromia*. Coi diversi colori prodotti in tal maniera, Nobili ha formato

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XIV, pag. 112.
(2) Gli stessi *Annali*, t. IX, pag. 310, t. XXVI, pag. 211, t. XVIII, pag. 221, e t. XXIII, p. 163. Per le lastre di lega ad uso delle incisioni si vegga t. IX, p. 328

una gradazione denominata da lui *scala* o *gamma cromatica*, che applicò a giudicare le tinte della natura ed a mostrare l'armonia dei colori, di cui la scala cromatica sarebbe il tipo (1). Becquerel si è parecchi anni dopo occupato della metallo cromia, cercando d'introdurla nelle arti, come aveva pensato Nobili (2). Dirò infine che le apparenze elettro-chimiche furono da me ottenute colle soluzioni senza l'aiuto della pila, adoprando soltanto un cilindretto di zinco che, a contatto colla lamina metallica, forma una coppia voltaica (3).

Priestley produsse, mediante le scariche della batteria di Leida, dei fenomeni somiglianti a quelli conseguiti da Nobili colla pila di Volta. I primi effetti, riscontrati da lui con scariche di batterie di 279 sino a 558 dec. quad. d'armatura consistevano in macchie centrali contornate da uno, due ed anche tre cerchi brillanti (4). Poscia nel tomo 58 delle *Transazioni filosofiche*, diede un ragguaglio più esteso di tali fenomeni, che trovò accompagnati da colori più o meno lucenti. La differenza delle apparenze di Nobili da quelle di Priestley, sta in questo: le prime sono prodotte dai componenti della soluzione separati dalla corrente elettrica e distesi in sottilissimi veli sulla superficie della lamina metallica; le seconde invece sono generate da esilissime particelle fuse staccate dai metalli, pei quali passa la poderosa scarica elettrica.

1500. Una delle applicazioni più interessanti del principio di Volta è stata fatta da Davy per preservare le fodere di rame delle grandi navi e dei vascelli della marina. Le estesissime lamine di rame, che coprono quei grandiosi edifizi dell'architettura navale, sono ben presto corrose e guaste dall'acqua salata e poste in istato di non essere più servibili col grave dispendio di doverle rinnovare. Mettendo in comunicazione quelle estesissime lamine con pezzi di ferro o di zinco, si forma una coppia voltaica, che ha per intermedio l'acqua di mare. Si dà così nascimento ad una debolissima corrente elettrica, per la quale è diminuita la tendenza di tutte le materie ossigenate a combinarsi ed a corrodere il rame, mentre sono disposte ad unirsi alla piastra aggiunta come l'elemento positivo. In tal maniera il rame non è così facilmente corroso dalle materie acide e si conserva per maggior tempo. Le piastre preservatrici si obbligano a prora ed a poppa

(1) *Memorie ed osservazioni ecc.* t. I, pag. 18, 25, 56 e 163
(2) *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. III, pag. 274
(3) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. X, pag. 33
(4) *Histoire de l'électricité ecc.* t. III, pag. 325

della nave e si accoppiano colla fodera di rame; esse devono avere un'estensione proporzionale alla grandezza del rame, e Davy consigliava di dare loro $^1/_{150}$ dell'estensione del rame. Ecco alcuni fatti, che comprovano l'efficacia della combinazione voltaica applicata come mezzo preservatore alle fodere dei vascelli e delle navi.

Il *Carnebrea-Castle*, vascello della Compagnia delle Indie protetto con $^1/_{100}$ ad $^1/_{110}$ di ferro nella primavera del 1824, dopo un viaggio alle Indie ed un notabile soggiorno nel Gange è tornato col rame netto e lucido senza aver attaccato veruna sostanza straniera. Il ferro, quantunque notabilmente consumato, era in grado di servire ad un secondo ed anche un terzo viaggio. Il battello *Elisabetta*, appartenente alla contea di Darnley, fu protetto nel maggio 1824 con $^1/_{125}$ di ferro malleabile e rimase in mare tutta l'estate di quell'anno. Dall'esame fatto nel novembre successivo si trovò col rame e la capocchia dei chiodi ancora lucidi ed intatti. Si erano soltanto attaccate delle piccole conchiglie al ferro, che si levarono. Il vascello l'*Haskisson*, appartenente al sig. Horsfol, è ritornato nel giugno 1825 da un viaggio fatto a Demerara, essendosi trattenuto in un fiume, dove d'ordinario i vascelli si coprono d'alghe e di animali parassiti. Tutto il rame di quella nave si riscontrò pulito sotto la protezione di due piastre di ferro dolce assicurate lungo la chiglia con chiodi di rame e dell'estensione di $^1/_{90}$ della fodera. Il *Dee*, gran vascello, fornito ai due lati della chiglia di striscie di ferro dell'estensione di $^1/_{90}$, dopo due viaggi a Demerara ha mostrato il rame libero d'ogni sostanza estranea. I chiodi di ferro erano totalmente corrosi, per cui se ne sostituirono altri di rame. Il vascello la *Dorotea*, foderato da un anno di rame, era ritornato da Bombay a Liverpool. Siccome è raro che possa con sicurezza essere fatto un secondo viaggio alle Indie collo stesso bastimento senza rinnovare il rame; così si mise per esso alla prova il nuovo sistema. Si fissarono nel maggio 1824 lungo la chiglia delle striscie di ferro dolce dell'estensione di $^1/_{70}$ della fodera, dopo cui salpò per Bombay nel giugno seguente e ritornò a Liverpool nell'aprile 1825. Esaminata la fodera un mese dopo il suo ritorno, si riconobbe che non aveva sofferto veruna alterazione nell'ultimo viaggio. La parte piana della carena era però imbrattata di molti molluschi, e l'armatura di ferro, quantunque molto corrosa, fu giudicata sufficiente a preservare la fodera nel corso d'altro viaggio alle Indie (1).

Questi e parecchi altri consimili fatti sembrano dimostrare l'effi-

(1) *Antologia*, giornale di Firenze t. xx 1825

cacia del principio di Volta applicato da Davy alla difesa della fodera di rame delle navi. In alcune circostanze la fodera, a malgrado dell'apparato preservatore, è stata corrosa, e da questi casi particolari qualche fisico ha dedotto, forse troppo presto, l'inefficacia del suggerimento di Davy. Si sapeva che, nella navigazione lungo le coste occidentali dell'Africa ed in altri luoghi, la fodera di rame viene rapidamente distrutta; si scoprì però parecchi anni dopo che le acque di quei mari contengono del gas solfidrico, il quale si sviluppa spontaneamente e deteriora il rame a malgrado della lamina preservatrice (1). Il prof. Melandri di Padova fu incaricato d'esaminare la nave italiana l'Egizia (2), la cui fodera fu rapidamente logorata a malgrado fosse munita delle lamine di ferro, e da tale esame egli opinò come qualche chimico straniero, che mise in dubbio la facoltà preservativa del principio di Volta. Avanti di trarre una tale conseguenza bisogna dimostrare che quella nave non fosse stata in acque dove si sviluppa spontaneo il gas solfidrico, che inoltre il rame fosse molto puro, e che infine fosse munita di lamina abbastanza elettro-positiva da impedire al rame la combinazione con sostanze acide e corrosive. Il ferro d'altronde, in alcune circostanze, non è a sufficienza elettro-positivo, e perciò servono meglio per ogni caso le lamine di zinco per rendere il rame incapace a combinarsi con sostanze che spontaneamente si sviluppano da certe acque. È d'uopo altresì che l'estensione della lamina conservatrice non sia troppo piccola in confronto della fodera. Una delle condizioni principali poi è d'usare rame puro, affine di non dar nascimento a correnti secondarie, che logorerebbero ben presto la fodera. È a tal fine che alcuni proposero di vestire le navi di rame col metodo elettro chimico, cioè col far depositare mediante la pila sulla loro superficie esterna il metallo ridotto da una grande quantità di solfato sciolto in un bacino d'acqua (3); per la ragione che il rame ottenuto in tal maniera è perfettamente puro.

1501. All'appoggio dello stesso principio si è cercato con lamine di zinco di preservare le àncore dall'ossidazione, come pure i cerchi di ferro di quegli apparecchi della forma di barile, galleggianti sulle acque dei mari per indicare la posizione dell'àncora o la presenza di

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XII, pag. 274.

(2) *Metodo di preservare* ecc., *preceduto da esami ed analisi chimiche* ecc., del prof. Melandri, negli *Annali delle scienze* del Lombardo-Veneto, fascicolo di marzo ed aprile 1832.

(3) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XIII, pag. 113 e 230.

qualche scoglio. Bellani ha proposto, per preservare gli utensili e le suppellettili di rame, di attaccare al fondo dei vasi un pezzo di zinco, su di che fu imitato da altri (1). Si difendono pure dall'ossidazione le penne d'acciaio, unendo ad esse un pezzetto di zinco (2). Le monete antiche, che siano state sepolte nella terra od esposte in atmosfera umida, per l'eterogeneità dei metalli di cui si compongono danno luogo a correnti molto lente, dalle quali coll'andare del tempo sono corrose. Il così detto *ferro galvanizzato* del commercio dipende dal principio suesposto.

1502. Si è proposto l'elettrico per riconoscere lo stato di certe soluzioni e per assaggiare l'oro e l'argento. In questi casi serve la corrente che si fa transitare pei corpi, di cui si esplora lo stato di purezza (3). Piegando in elica cilindrica il filo di platino che congiunge i poli d'un'energica pila, e collocando nell'asse un piccolo crogiuolo, contenente alcuni grammi della miniera d'oro o d'argento, si può in pochi minuti ottenerne la fusione e la coppellazione. La corrente fatta transitare pel minerale ha servito allo spartimento dei metalli (4), ed anche a renderli più puri con risparmio di combustibile (5).

Un'altra applicazione fu esperimentata da Iacobi, ma non adottata nella pratica per mancanza di tornaconto. L'illustre fisico aveva disposto una pila, per la quale si sviluppava del gas illuminante, che si raccoglieva in apposito gazometro. Questo alimentava qualche beccuccio dove il gas era abbruciato e serviva all'illuminazione (6). In tal maniera si ha decomposizione e ricomposizione successiva dei gas. Osserviamo però che, se la pila sarà per presentare in seguito qualche convenienza nell'illuminazione, dobbiamo attenderla dalla luce diretta, che genera la corrente elettrica (§ 1442), e non mai dal gas prodotto per essa che bisogna abbruciare di nuovo per avere indirettamente la luce. L'applicazione che si è riconosciuta utile si è quella di condurre la corrente elettrica ad accendere sott'acqua la polvere pirica per far saltare in aria e minare degli scogli posti ben anche in fondo ai fiumi od ai bacini dei porti di mare e simili (7).

(1) *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. XXIV, pag. 221.
(2) Gli *Annali* medesimi, t. XXIII, pag. 224.
(3) *Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. III, pag. 330 e 343.
(4) *Annali* succitati, t. I, pag. 218, t. XI, pag. 210 e t. XXI, pag. 411.
(5) I suddetti *Annali*, t. XVIII, pag. 216 e t. XXI, pag. 220.
(6) *Traité de l'électricité* succitato, t. VI, parte 1ª, pag. 416.
(7) *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. XI, pag. 207.

1503. Davy, Berzelius ed altri dotti, vedendo che l'affinità delle molecole può essere distrutta o modificata in virtù dell'elettrico e che d'altronde i corpi in diverso stato elettrico si attraggono, pensarono che l'attrazione, per cui i corpi si riuniscono in masse più o meno grandi, avesse per origine l'elettricità. Secondo quest'ipotesi il fluido elettrico non sarebbe per sè stesso soltanto un agente attivissimo, ma diverrebbe la cagione per cui si eserciterebbe la potenza di qualunque chimico reattivo. Si vuole che gli atomi della materia siano per la loro natura in uno stato elettrico più o meno opposto, e che l'affinità chimica ad altro non si riduca che ad un'attrazione elettrica ordinaria. Essi pertanto riguardarono la combustione come conseguenza di tale principio (§ 1180), con cui è posta in giuoco l'attrazione elettrica, di cui la luce e il calore sono la conseguenza, come prodotti da indefinite scariche, che succedono fra gli atomi nell'attrarsi in virtù del loro stato elettrico opposto.

Non dobbiamo però credere che quelle scariche si facciano a spese dello stato elettrico degli atomi, altrimenti questi perderebbero, all'atto della combinazione, la loro proprietà elettrica, che in quell'ipotesi si è costretto di riguardare come la forza per cui gli atomi si riuniscono e stanno congiunti. Ampère ha perciò procurato di spiegare le azioni chimiche supponendo che gli atomi, oltre avere uno stato elettrico permanente, siano circondati, quando sono isolati e liberi, da atmosfere elettriche contrarie all'elettricità che naturalmente posseggono. In quest'ipotesi dunque le scariche nelle combinazioni chimiche avrebbero luogo fra quelle atmosfere degli atomi eterogenei, distruggendosi più o meno a vicenda per ricomparire di nuovo quando gli atomi tornassero ad essere disgiunti ed isolati nella decomposizione dei corpi. Queste idee sono seducenti, e ridurrebbero l'attrazione molecolare a quella elettrica. Un ostacolo però si presenta per ispiegare la coesione o l'attrazione delle molecole dei corpi omogenei. Si è cercato di superare anche questa difficoltà con una nuova ipotesi, sulla quale non ci intratterremo come argomento di chimica puramente teorica ed estraneo al nostro *Corso Elementare*. Aggiungeremo soltanto che da alcune sperienze risulta l'influenza dell'elettricità nell'adesione od attrazione di superficie (1).

È facile ora comprendere come i chimici, parlando dell'attrazione molecolare, dispongano i corpi in due ordini differenti, cioè in corpi *elettro-positivi* ed in corpi *elettro-negativi*. Ai primi appartengono

(1) *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. 3, pag. 108.

l'idrogeno, il potassio e tutte le *materie basiche*, ed ai secondi l'ossigeno, il cloro e tutte le *materie acide*. Le qualità basica (alcalina) ed acida ovvero elettro-positiva ed elettro negativa, possono essere riguardate come la conseguenza dei diversi gradi d'una qualità generale, relativamente alla quale i differenti corpi si trovano al disotto d'un certo punto determinato, che corrisponderebbe ad un corpo nè alcalino nè acido ossia ad uno *neutro*. Si considererebbero cioè in certa qual maniera come i gradi di calore al disopra ed al disotto di quel punto termometrico notato con zero, quando in realtà formano una serie continua di gradi compresi sotto la denominazione generica di temperatura, di cui lo zero del termometro è pure un grado determinato. La qualità generale comprendente i diversi gradi d'alcalinità e d'acidità, è stata chiamata da Avogadro *numero affinitario*. Egli ha pubblicato alcune considerazioni sui diversi gradi delle facoltà elettro-positiva ed elettro-negativa dei corpi semplici, affine di conciliare queste qualità fisiche dei corpi con alcune idee teoriche dei chimici (1), stabilendo i poteri neutralizzanti, ossia i gradi delle qualità elettro-negativa ed elettro-positiva dei corpi. Prendendo per unità il potere neutralizzante negativo dell'ossigeno, Avogadro ha trovato:

Ossigeno . . —1	Cloro . . —0,15	Carbonio . . +0,06
Solfo . . . . +0,22	Azoto . . +0,47	Idrogeno . . +3,90

In tal maniera l'illustre fisico italiano ha cercato di sostituire dei *numeri definiti* alle idee vaghe di *più* e *meno* intorno ai poteri neutralizzanti elettro-positivi ed elettro-negativi dei diversi corpi elementari.

1504. Conoscendosi ora gli effetti dell'elettrico sulla materia ponderabile e le diverse circostanze in cui si sviluppa con operazioni meccaniche, fisiche, chimiche e fisiologiche, potremo avere qualche lume intorno al suo modo d'esistenza e d'azione sui corpi. Intanto ci saremo accorti che l'ipotesi dei due fluidi è del tutto gratuita ed assurda, e non regge a fronte della moltiplicità dei fatti esposti. Essa può essere al più tollerata nei calcoli matematici, considerando i due fluidi come forze. In quanto all'altra ipotesi poi non è del pari ammissibile che quell'agente imponderabile trascorra i corpi conduttori come succede dei fluidi liquidi od aeriformi per canali o per tubi, ma piuttosto che la diffusione a distanza avvenga per una serie d'on-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. 1, pag. 157

dulazioni dell'etere sparso in tutta la natura materiale, da cui sotto diverse circostanze sarebbero prodotti i fenomeni della luce e del calore. Si potrebbe ancora domandare quale sia il differente modo d'esistenza dell'elettrico sviluppato colla macchina a stropicciamento e di quello promosso col pilere voltiano? In quest'ultimo apparato pare più subordinato agli stati elettrici degli atomi della materia, nella stessa guisa che si mostra nei fenomeni ordinari d'attuazione. Alcuni fisici hanno posto a confronto l'elettrico in corrente con quello di tensione (1), e dalle loro considerazioni sembra appunto risultare che la manifestazione di quel fluido sia modificata dall'influenza dello stato elettrico proprio agli atomi della materia, la quale proposizione pare ancor più dimostrata dai fenomeni del magnetismo, che formano il soggetto del seguente capitolo

CAPITOLO SETTIMO

DEL MAGNETISMO.

1505. I fenomeni del *magnetismo* si credevano per l'addietro dipendere da un fluido particolare, cui si era dato il nome di *magnetico*. Si conoscevano però alcuni punti d'analogia fra il magnetismo e l'elettricità, pei quali si sospettava che i due ordini di fenomeni avessero comune la causa. La scoperta fondamentale, fatta dal danese Oersted nel volgere dell'anno 1820, diede occasione ad un gran numero di ritrovati, pei quali si cambiò in verità l'antico sospetto, ed i fisici d'oggidì ritengono il magnetismo un ramo dell'elettricità dinamica, da cui si suole distinguere allo scopo di meglio dichiararne i fenomeni.

Esiste nel seno della terra una miniera di ferro, di color nericcio e talvolta cenerognolo, che chiamasi *calamita*. In Italia la si ritrae principalmente dall'isola d'Elba, e la migliore si trova nella Norvegia. Il minerale non presenta l'apparenza metallica, ma somiglia piuttosto ad una pietra, per cui gli venne eziandio dato il nome di *pietra calamitare*, la quale è generalmente conosciuta per la singolare proprietà di attrarre il ferro, l'acciaio, il nicolo, il cobalto ed il cromo, e di comunicarla a questi corpi. La calamita era chiamata dai Greci e dai Latini *magnes*, donde trasse origine il vocabolo *magnetismo*, sotto cui si comprende il complesso dei fenomeni presentati dal minerale in virtù della proprietà fondamentale, nota da ben 600 anni avanti l'èra

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xvIII, pag. 12 e t. xxvII, pag. 159.

cristiana. Platone ne parla ne' suoi dialoghi; ma bisogna venire sino a Pitagora per raccogliere qualche notizia precisa intorno a tale soggetto. *Magnetizzati* diconsi i corpi che posseggono le proprietà della calamita, e *magnetici* quelli che ne sentono l'azione. L'atto o l'operazione, con cui si eccita una tale proprietà, si esprime colle parole *magnetizzare* e *magnetizzazione*. Un pezzo d'acciaio magnetizzato della forma di rombo schiacciato o di sottile cilindro prende il nome di *ago calamitato* od *ago magnetico*.

1506. La proprietà di attrarre il ferro è comune a tutte le molecole della calamita, la cui risultante si manifesta in due punti distinti che si appellano *poli*. Se ne determina facilmente la posizione ravvolgendo la calamita nella limatura di ferro, ed osservando dove se ne attacca maggior copia sotto forma di fiocchi in direzioni convergenti verso due punti, nei quali risiedono i poli. Si scoprono eziandio per mezzo d'un sottile e corto filo di ferro, che lentamente si fa scorrere sulla calamita: il sito, là dove il filo si dispone normale alla superficie, indica la posizione del polo, mostrandosi nel resto più o meno inclinato secondo la distanza dei due centri attrattivi. I poli si manifestano più distintamente osservando la disposizione, che prende la limatura lasciata cadere da piccola altezza per lo staccio sopra un foglio di carta orizzontale, posto al di sotto la calamita. Dalla maniera con cui si distribuisce (fig. 395), si scorge che le particelle di ferro sono dirette a due differenti centri, dove risiedono i poli. Sono questi divisi da una linea, che non ha azione sulla limatura e che perciò chiamasi *linea neutra*. Tagliando la calamita in due porzioni secondo quella linea, si trova che ciascuna metà è una calamita compiuta. Lo stesso accade se ciascuna metà si suddivida in due parti e così di seguito.

Gli antichi, come si disse, avevano notizia della virtù della calamita e dell'attitudine di comunicarla al ferro ed all'acciaio. Furono molto tempo dopo riconosciuti magnetici il nicolo ed il cobalto e da pochi anni il cromo e forse tutti i corpi. La più bella e la più importante proprietà è la direzione che costantemente prende l'ago magnetico in riguardo alla terra. Si sospenda l'ago orizzontalmente ad un sottilissimo filo di seta, oppure si ponga a galleggiare liberamente sopra un liquido, o in bilico sopra un perno: così disposto si scorge che con un'estremità si rivolge verso il nord e coll'altra verso il sud dell'orizzonte terrestre. Questa proprietà è sfuggita per lungo tempo all'osservazione ed è stata scoperta verso il XII secolo dall'italiano Flavio Gioia, al quale qualche nazione cerca di disputarne l'onore.

per quanto sia rimosso dalla sua posizione facendogli subire ben anche una semirivoluzione intorno al centro, l'ago sempre fedele a se medesimo riprende costantemente la primitiva direzione. L'estremità dell'ago, che si rivolge al settentrione, chiamasi *polo nord* o *boreale*, l'altra opposta dicesi *polo sud* od *australe*. La porzione corrispondente a ciascun polo dicesi *braccio*, per cui havvi il *braccio boreale* ed il *braccio australe*. Si dica egualmente di ogni altra calamita di qualunque forma, che si riscontra pure dotata di due poli differenti, del boreale e dell'australe.

1507. Le calamite non manifestano soltanto l'attrazione sul ferro e su altri corpi, ma esercitano fra loro un'azione reciproca d'attrazione ed anche di ripulsione secondo i loro poli. Infatti poste in presenza, mostrano la proprietà caratteristica che *i loro poli eteronomi si attraggono, mentre gli omonomi si respingono*. Si abbia in bilico sul perno l'ago magnetico e si accosti alla sua estremità la calamita: si osserva che fra i loro poli eteronomi vi ha attrazione, e fra i loro poli omonomi succede ripulsione. I Francesi perciò chiamano polo australe l'estremità della calamita che si rivolge verso il nord, e polo boreale l'estremità che si dirige verso il sud, fondando questo invertimento di linguaggio sull'ipotesi che la terra sia una grande calamita dotata essa pure di poli. Avendo così, per considerazioni del tutto ipotetiche, cambiato la denominazione naturale dei poli, recarono non poca confusione, e talvolta indussero in errore alcuni scrittori che non fecero riflessione a tale variazione usata nei libri moderni francesi.

Immaginiamo un piano verticale, che passi pei poli dell'ago calamitato nella sua naturale posizione d'equilibrio, esso determina all'intorno del globo il cerchio, che chiamasi *meridiano magnetico*. Corrispondenti al meridiano si considerano l'*equatore* e l'*asse magnetico*, che non coincidono colle linee geografiche del egual nome, ma se ne discostano più o meno nei diversi tempi. Per l'addietro si credeva che la direzione dell'ago calamitato fosse esattamente dal sud al nord. Fu il primo a scoprire l'errore un altro italiano, Cristoforo Colombo, il quale, nell'attraversare l'Oceano volgendo l'anno 1492 diretto alla scoperta del Nuovo Mondo, ne rimarcò la differenza. Ora si sa che vi sono pochissimi punti ove l'ago dirigasi esattamente al nord. Nel corso del capitolo esamineremo la deviazione dell'ago magnetico dai poli del globo dopo che avremo fatto conoscere i principali fenomeni del magnetismo.

1508. L'attrazione e la ripulsione dei poli, eteronomi ed omonomi delle calamite, hanno qualche analogia colle attrazioni e ripulsioni

elettriche (§. 1241), e molto più con somiglianti fenomeni manifestati dalle tormaline (§. 1325). L'analogia degli effetti non basta a dimostrare l'identità delle cause: nel nostro caso bisognerebbe che si avessero eguali fenomeni sostituendo ad una delle calamite la tormalina e viceversa. La tormalina però, od altro corpo non magnetico elettrizzato, presentata all'ago calamitato, ne attrae indifferentemente l'uno e l'altro polo senza manifestare ripulsione tanto che la parte sia elettrizzata in più quanto in meno. Nella ipotesi d'un fluido magnetico, per la spiegazione dei fenomeni, si riscontrava altresì una grande corrispondenza coi sistemi elettrici (§. 1226): alcuni, come gli unitari, imaginarono un sol fluido suscettibile di condensazione e di rarefazione per dar luogo alla facoltà attrattiva dei poli nord e sud, altri invece, i dualisti, supponevano due fluidi, il boreale e l'australe, dalla cui unione si aveva il fluido magnetico neutro. L'analogia delle ipotesi fece nascere l'analogia del principio per la spiegazione dell'una e l'altra classe di fenomeni, ma quando si sostituiva il polo del corpo elettrizzato al polo di quello calamitato, l'analogia scompariva e scompariva del pari l'idea dell'identità delle cause. Effetti ben più concludenti, a ravvicinare le due classi di fenomeni, apparivano dall'osservare che pezzi di ferro e d'acciaio si trovarono calamitati in virtù di scariche elettriche, senza però essere dichiarata la condizione propria ad ottenere il massimo grado di magnetizzazione in quei metalli. Si sapeva inoltre che la folgore nella sua caduta magnetizza i ferri e le materie ferruginose che colpisce, e che le aurore boreali inducono dei moti nell'ago calamitato, essendo tanto le une che l'altra d'origine elettrica. Questi ed altri fatti consimili non erano sufficienti a dimostrare la medesima derivazione dei fenomeni elettrici e magnetici (1); ed era riservato ai fisici della nostra età di ricongiungerli in un sol ramo, mediante una numerosa serie di scoperte e di fatti che costituiscono l'elettro-magnetismo. Questo capitolo sarà diviso pertanto in due sezioni, nella prima delle quali si tratterà dell'*elettro-magnetismo* e nell'altra del *magnetismo ordinario* mostrando come nascono i fenomeni, che altre volte si attribuivano ad un quarto fluido imponderabile.

(1) ***Raccolta di memorie sull'analogia dell'elettricità col magnetismo, arricchite di note e di nuove dissertazioni*, di Van Swinden, all'Aia 1784**

SEZIONE I.

Dell' elettro-magnetismo.

1500. L'invenzione della pila di Volta ha ben presto dato nascimento a nuove analogie ed infine ha condotto a dimostrare l'eguaglianza d'origine dell'elettricità e del magnetismo Sin dall'anno 1802, l'illustre Romagnosi annunziava nella *Gazzetta di Trento* del 2 agosto la deviazione dell'ago calamitato ottenuta colla corrente voltaica. La relazione di questa sperienza è un documento storico dell'elettro-magnetismo, e perciò l'abbiamo registrata nel giornale scientifico da noi diretto (1). D'altra parte il prof. Mojon di Genova osservava poco dopo, non solo l'ossidazione, ma ben anche la magnetizzazione molto sensibile di alcuni aghi da cucire assai sottili della lunghezza di poco più di 5 centimetri, che erano stati posti per 20 giorni a far parte *longitudinalmente* del circuito d'un elettromotore a corona di tazze di 100 coppie (2). Questi due fatti racchiudono a dir vero il germe dell'elettro-magnetismo, e quantunque non siano stati ben distinti e non adempiano alle giuste condizioni pel conseguimento del fenomeno; tuttavolta hanno mostrato ai fisici posteriori che nel piliere risiedono le proprietà magnetiche, eccitandoli a variare gli esperimenti ed a ritrovare le giuste combinazioni, affinchè la corrente elettrica agisse in ogni caso sull'ago calamitato e magnetizzasse i pezzi d'acciaio. Vedremo infatti che la corrente elettrica esercita sui corpi magnetizzati e magnetici la stessa azione che spiega la calamita, e comunica all'acciaio il poter magnetico nello stesso modo della calamita medesima. Allorquando s'incominciò ad avere molta speranza di ridurre ad una sola classe le due specie di fenomeni, si accorsero i fisici che il fluido elettrico era meno ipotetico del magnetico, imperocchè del primo proviamo gli effetti e ne abbiamo i segni d'esistenza in diversi modi, mentre il secondo agisce in silenzio ed ha in sè del misterioso, non potendosi nè vedere nè sentire, riserbandosi interamente nascosto ai nostri sensi. I due fluidi però non sono in realtà differenti, e dalla serie dei fatti, che andiamo ad esaminare, si vedrà come coll'elettricità si produca magnetismo e col magnetismo s'induca elettricità, e come un solo agente sia atto a generare i due ordini di fenomeni, per cui i due fluidi risultino identici nella loro essenza.

(1) *Annali di fisica ecc. più volte citati*, t. IV, pag. 80.
(2) *Traité sur le galvanisme*, di Aldini. Parigi 1804, ediz. 4ª, pag. 191

1510. Il filo di rame o di qualunque altro corpo non magnetico, che congiunge i poli d'un elettromotore voltaico a grandi piastre, attrae la limatura di ferro e non quella di rame o d'altri corpi della stessa natura. Non possedendo una coppia a piastre molto ampie, si consegue il fenomeno anche con un solo elemento rame-zinco di mediocri dimensioni, piegando il filo congiuntivo coperto di seta sotto forma di spirale, che si applica sulla tavoletta A (fig. 396). I due capi della spirale sporgono dentro i due pozzetti P, N fatti nella tavoletta, dove si versa del mercurio. Introducendo i reofori nel liquido dei due pozzetti, la corrente percorre il filo spirale, su cui si è posto un foglio di carta: tosto che il circuito è compiuto, si vede la limatura di ferro sparsa sulla carta disporsi in pennacchi nella stessa guisa che succede colla calamita sostituita alla spirale di sotto della carta. Interrompendo la corrente, le particelle di ferro si rimettono in situazione orizzontale ed al momento che si ristabilisce il circuito prendono di nuovo la disposizione di prima. Il fenomeno non avviene con limatura di rame od altro corpo non magnetico, il che prova essere le correnti elettriche dotate delle proprietà della calamita. Questo importante passo fatto nell'elettro-magnetismo è dovuto ad Arago.

1511. Non solo la corrente mostra per attrazione la proprietà magnetica, ma la comunica all'acciaio e ad altri corpi consimili. La condizione essenziale per la magnetizzazione dell'acciaio consiste a far circolare l'elettrico intorno all'ago e non a dirigerlo lungo il medesimo, come aveva fatto Mojon. A tal fine un filo di rame coperto di seta si piega in spirale cilindrica, nel cui asse è introdotto l'ago di acciaio avvolto, se si vuole, in carta o stoffa di seta per meglio isolarlo dal filo. Congiungendo i capi della spirale coi reofori d'un elettromotore di qualche coppia a grandi piastre, la corrente transita pel filo spirale e magnetizza in pochi secondi l'ago, che si ritira appunto dotato di poli come la calamita. Una sola scarica d'una piccola boccia di Leida, che si fa transitare lungo il filo della spira, basta pure a magnetizzare l'ago d'acciaio. I poli dipendono dalla direzione dell'elettrico circolante, come quanto prima apprenderemo, e si determinano coll'ago calamitato disposto per tali prove (§ 1507). Queste sperienze furono ripetute in Italia da Gazzeri ed Antinori (*Bibliothèque universelle* succitata, t. XVI pel 1821), da Barlocci (*Giornale Arcadico di Roma*, t. X, parte terza, e t. XIII, parte prima) e principalmente da Marianini, il quale le variò in una moltiplicità di maniere studiando le diverse circostanze influenti sulla magnetizzazione (*Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. III, pag. 225; t. IV, pag. 13

t. v, pag. 37, t. vii, pag. 113, t. ix, pag. 134 e 251, t. x, p. 230, t. xi, pag. 17, t. xiv, pag. 3, t. xv, pag. 23 e t. xvi, pag. 3. Intorno al magnetismo così detto da Marianini dissimulato si possono vedere gli stessi *Annali*, t. xvi, pag. 246, e per la magnetizzazione dell'acciaio coll'elettrico il t. xix, pag. 175 e t. xxviii, pag. 29. Si è altresì trovato che, coprendo di zinco sottili pezzi di ferro (lamine), acquistano irregolarmente i poli magnetici, t. xi, pag. 302.

Le calamite artificiali d'acciaio si ottengono mediante il contatto di altre calamite nel modo che insegneremo. Ora le correnti elettriche, essendo una copiosa sorgente di magnetismo, servono a fabbricare delle calamite artificiali assai energiche (1). A tal fine 8 in 9 metri di filo di rame della grossezza almeno di 2 in 3 millimetri si avvolgono con diversi giri sotto forma di cilindro cavo assai corto e molto grosso (fig. 397). Si mettono in comunicazione i capi della spirale coi reofori di una coppia voltaica e s'introduce nella cavità cilindrica la verga d'acciaio da essere magnetizzata, movendola su e giù. Dopo un certo tempo, che è di pochi minuti a norma della grossezza della verga, si interrompe il circuito, avvertendo che all'atto dell'interrompimento la verga deve trovarsi ancora nella cavità dell'elica, da dove poscia è ritirata. All'atto della magnetizzazione è bene di applicare all'estremità della verga dei pezzi di ferro dolce. Se la verga ha la forma di ferro di cavallo, s'introduce un braccio nella cavità dell'elica, mentre l'altro braccio rimane all'esterno della medesima, e si tiene applicato il pezzo di ferro dolce. Basta una sola coppia alla Bunsen a larghe piastre per calamitare a saturazione delle verghe d'acciaio anche grosse.

1512. Il ferro, quando è dolce, resta magnetizzato soltanto pel tempo in cui sta a contatto colla calamita o che circola all'intorno di esso la corrente elettrica. Se è crudo si magnetizza coll'elettrico, ma in un grado minore dell'acciaio, il quale riesce più atto alla fabbricazione delle calamite permanenti quanto più è di qualità resistente e temprato, avendo in questo caso, come si suol dire, maggiore *forza coercitiva*. All'appoggio di tale principio si sono costrutte le *calamite temporarie*, dette altrimenti *calamite voltaiche* od *elettro-magneti* per distinguerle da quelle fatte con ferro dolce a contatto delle calamite ordinarie. Si abbia una verga di ferro dolce, e si avvolga ad essa in più strati un filo di rame della grossezza di circa millimetri 1,5 coperto di seta o cotone per isolarlo dal ferro ed i giri fra loro. La verga,

(1) *Annali di fisica* [illegible] t. xxvi, pag. 18 e 270.

così disposte, non esercita veruna azione sulla limatura di ferro o sopra pezzi di questo metallo; ma, tosto che si fa circolare pel filo la corrente elettrica, la verga diventa una vera calamita ed attrae con gagliardia la limatura ed i pezzi di ferro. Al momento che cessa la corrente, la verga perde interamente il suo potere magnetico se è formata di ferro dolce, e non del tutto se il ferro è crudo.

Per le sperienze nella scuola si dà alla grossa verga cilindrica di ferro dolce la forma di ferro di cavallo (fig. 398), e ad essa si avvolge il filo di rame coperto di seta, coi giri perpendicolari all'asse della verga. La massa incurvata si appende ad un forte arpione, e le estremità del filo terminano in due morsetti, coi quali comunicano i reofori della coppia voltaica. Al di sotto si adatta altro pezzo di ferro dolce munito di gancio per attaccarvi dei pesi, il quale costituisce l'*àncora* della calamita. Mettendo in comunicazione colla coppia voltaica le estremità del filo, l'àncora viene vivamente attratta e ritenuta con forza tale da resistere al peso di alcune centinaia di chilogrammi secondo la grossezza della verga di ferro e l'energia dell'elettromotore. Le calamite voltaiche, nate nell'anno 1825 per opera di Sturgeon e poscia di Moll, furono studiate in Italia dal prof. Dal Negro (1). La calamita voltaica del R. Liceo a S. Alessandro di Milano è della forma da noi descritta, ed ha tali dimensioni che, con un'energica coppia voltaica, è capace di reggere il peso d'un migliaio e più di chilogrammi.

La buona qualità del ferro dolce, il peso e la forma della verga e dell'àncora, il diametro del filo ed il numero dei giri della spirale, l'energia della pila anche in rapporto all'estensione ed al numero delle piastre, sono tutte circostanze che influiscono sulla gagliardia della forza degli elettromagneti. Si osservi altresì che l'azione magnetica diminuisce in ragione della lunghezza dei reofori, pei quali la corrente giunge al filo avvolto alla calamita (2). Alcuni fisici consigliano pel ferro più proprio a queste calamite di fabbricarne le verghe con fili incorporati assieme.

1513. I poli, che manifestano queste calamite temporarie e quelle permanenti d'acciaio formate colla corrente elettrica, dipendono dalla direzione che ha od ebbe la corrente medesima nel percorrere il filo di rame. Se la spirale all'intorno della verga è disposta colle eliche o coi giri diretti verso destra (*dextrorsum*), l'estremità della verga,

(1) *Annali delle scienze del Lombardo-Veneto*, bimestre VI, 1831, e V, 1832.
(2) *Annali suddetti*, t. XVI, pag. 31.

verso il lato per dove entra la corrente, diventa polo sud e l'altra estremità polo nord. Se la spirale è piegata a sinistra (*sinistrorsum*), succede all'inverso, vale a dire il polo nord è dalla parte per dove entra la corrente ed il polo sud dall'opposta. Invertendo la direzione della corrente s'invertono del pari in ambidue i casi i poli. Notiamo altresì che la spirale si dice *dextrorsum* quando, posta verticale e considerati i giri nel loro andamento ascendente, essi vanno da sinistra a destra. Tali sono le viti comuni e le eliche, che s'incontrano nel regno vegetabile. La spirale è *sinistrorsum* quando nelle stesse circostanze i giri ascendono da destra a sinistra. Lo stesso è dei poli che nascono nei corpi magnetizzati colle scariche o colle correnti elettriche (§. 1511). Riteniamo che per polo nord s'intende quello che si rivolge a settentrione, e polo sud a mezzodì (§. 1507).

Con due verghe di ferro dolce piegate in semicircolo ed inviluppate di filo di rame coperto di seta (fig. 399), si può dimostrare nella scuola le attrazioni e le ripulsioni dei poli delle calamite voltaiche: avvicinando le loro estremità per un lato, al momento che la corrente transita pel filo, vi sarà energica attrazione; mentre invertendo il lato si avrà ripulsione.

1514. La forza magnetica del ferro deve riuscire tanto più grande quanto più sono numerose le particelle metalliche immediatamente sottoposte all'azione della corrente. È su tale principio che alcuni artefici costrussero delle energiche calamite temporarie introducendo il filo lungo scanalature della massa di ferro, senza però che i giri abbiano una direzione tale da elidere reciprocamente gli effetti della corrente.

Una calamita voltaica è stata costrutta da Radford all'appoggio di tale principio (1), di cui la figura 400 rappresenta l'elevazione, la fig. 401 la sezione verticale e la fig. 402 la proiezione orizzontale. Il diametro era quasi di 23 centim. (pollici 9) e le altre dimensioni in proporzione del disegno. Il solo magnete, senza il filo e l'àncora, aveva il peso di chil. 7,31 (libb. 16. 2). Il filo, composto di un fascio di 53 piccoli fili di rame, pesava circa 1 chil. (libb. 2. 2), ed era coperto di nastro di cotone. L'àncora era di circa chil. 6,75 (libb. 14. 12). La scanalatura aveva la profondità di millim 9,5 (poll. $^3/_8$), e la larghezza di circa 6 millim. (poll. $^1/_4$). La grossezza del metallo tra l'una e l'altra scanalatura risultava di quasi millim. 13 (poll. $^1/_2$), e quella della calamita all'orlo esterno di poco più di millim 25 (poll. 1), ed

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. VIII pag. 15.

al centro di millim. 35 (poll. 1 $^{3}/_{8}$) Il maggior peso sostenuto da questa calamita, messa in attività mediante una pila voltaica di 12 coppie ghisa-zinco (§ 1359), risultò di chil. 1133 (libb. 2500).

All'appoggio dei medesimi principi Roberts ha costrutto pure una poderosa calamita voltaica (1), di cui nella fig. 403 è rappresentata la proiezione, nella fig. 404 la sezione fatta parallelamente al lato a; nella fig. 405 la sezione secondo il lato b, nella fig. 406 la sezione dell'àncora e nella fig. 407 la sezione dell'àncora medesima fatta ad angolo retto della precedente. La grossezza della calamita era di quasi millim. 62 (poll. 2 $^{7}/_{16}$); l'area d'una faccia di cent. quad. 42,74 (poll. quad 6 $^{5}/_{8}$), con 4 scanalature della profondità di quasi millimetri 31 (poll. 1 $^{1}/_{4}$) e della larghezza di millim. 9,5 (poll. $^{3}/_{8}$). Un fascio di 30 fili di rame del n° 18, coperto di cotone, si avvolge in tre giri per le scanalature La calamita, compreso il filo, aveva il peso di chil 15,87 (libb 35), La grossezza dell'àncora era di quasi 38 mill (poll 1 $^{1}/_{2}$) e del peso di chil. 11,43 (libb. 25). La calamita fu posta in azione con una batteria voltaica di 8 coppie formata di recipienti di ghisa e cilindri di zinco, i quali presentavano la superficie di quasi 325 cent quad. (poll. quad 50), e sostenne il peso di chil. 1338 (libb. 2950).

1513 Una forza così poderosa, che è attivata all'istante nelle verghe di ferro dolce dalla circolazione delle correnti voltaiche ed annullata al momento che queste cessano di muoversi, era naturale d'indagare se poteva essere sostituita al vapore nella meccanica. I primi, che cercarono di applicare la forza elettro-magnetica alla meccanica, furono i due fisici italiani Dal Negro e Botto, che quasi contemporaneamente a tale intento istituirono parecchie sperienze (2) Jacobi poco dopo si occupò dello stesso soggetto a Dorpat (3), I modelli poscia si moltiplicarono in Italia, agli Stati-Uniti d'America, nell'Inghilterra, in Germania ed in Francia, ed alcuni diedero ben anche saggio con esperimenti in grande, avendo Patterson tentato di mettere in attività un torchio da stampa agli Stati-Uniti, Jacobi di sol-

(1) I medesimi *Annali*, nel detto tomo, pag. 46.

(2) Le prime viste di Dal Negro si riscontrano negli *Annali delle scienze del Lombardo-Veneto*, volume del 1834, pag 67, dove asserisce d'averne costrutto il modello nel 1831 e presentato all'Accademia di Padova Il primo modello di Botto è descritto nel foglietto a stampa *Notizie sopra l'applicazione dell'elettro-magnetismo alla meccanica* Torino 1834.

(3) *Mémoire sur l'application de l'électro-magnétisme au mouvement* Potsdam 1835

care le acque del fiume Neva con una barca e Davidson in Inghilterra di muovere una locomotiva sulle rotaie di ferro (1). Sinora tanto pel tornaconto quanto per la manutenzione e costanza della forza non si ebbero risultati favorevoli, e il vapore signoreggia ancora nell'industria meccanica. Diamo la descrizione del modello più proprio a mostrare nella scuola la forza dell'elettro-magnetismo adoprata come motore.

Il modello di *motore elettro-magnetico* è rappresentato nella fig. 408, dove in E vedonsi due binari di calamite temporarie disposte verticalmente sopra una lastra d'ottone, che appoggia sul basamento B di legno. L'asse di metallo *aa* è infisso nel volante V girevole sopra due sostegni verticali. Esso porta all'estremità la manovella *m* congiunta coll'asticella *d*, la quale si unisce ad altra asticella orizzontale infissa in albero mobile su due sostegni dal lato opposto dell'apparecchio. Havvi altresì una leva di primo genere a braccia eguali: ad una di queste, mediante un'asticella, è unito l'albero. Due tiranti, attaccati alle estremità della leva, sono solidamente congiunti alle ancore *b*, *b* delle calamite. In *x*, *y* vedonsi due morsetti, di cui uno, mediante grosso filo di rame, comunica colla lastra d'ottone e l'altro colle spirali delle calamite. I reofori della pila ed anche d'una sola coppia alla Bunsen si attaccano ai morsetti, e la corrente, andando per *x*, invade l'una o l'altra delle spirali dei due binari delle calamite, secondo che trova libero il corso per la prima o per la seconda via. Due molle metalliche, cui mettono capo le altre estremità delle spirali, compiono od interrompono le due vie della corrente, venendo alternativamente a contatto coi risalti, di cui è fornito l'asse *aa*. La corrente quindi, passando nell'asse, trascorre per la parte metallica dell'apparato e si porta sulla lastra d'ottone e da di là al morsetto *y* per rientrare nella pila a ripigliare il suo corso. Le due àncore sono suscettibili di abbassarsi ed innalzarsi col loro estremo *b*, *b* ruotando sull'estremo opposto, per dove si appoggiano alle verghe delle calamite.

Al momento che circola la corrente per l'elica d'un binario, l'àncora è attratta e si abbassa, nello stesso tempo che quella dell'altro binario s'innalza. Tosto che la seconda àncora ha raggiunto la mas-

(1) Si vegga il mio articolo *Cenni storici intorno all'elettro-magnetismo considerato come forza motrice*, negli *Annali di fisica* ecc., t. xi, pag. 209 a 323; si vegga eziandio t. xx, 201, t. xv, 233, t. xii, 195, e t. xxvii, 97, come pure gli *Annali*, 2a serie, t. ii, pag. 27 e t. iii, 503.

sima elevazione, la corrente è interrotta ed abbandona il primo binario per circolare lungo la spirale del secondo, di cui è compiuto il circuito col contatto della rispettiva molla. La calamita è allora attivata e ne attrae l'ancora facendo abbassare il braccio opposto della leva per la quale concepisce un nuovo movimento l'asticciuola orizzontale e fa compiere un'altra mezza rivoluzione alla manovella. In virtù degli abbassamenti ed innalzamenti alternativi delle due àncore prodotti dalle successive attrazioni magnetiche delle calamite temporarie, l'asse *aa* concepisce in un col volante V un celere movimento di rotazione, che con ruote dentate od a coreggie si può comunicare alla machina che si vuole attivare.

I motori elettro-magnetici hanno avuto disposizioni differenti. Quello da noi descritto, che fabbrica il meccanico Jest, preparatore del Gabinetto di fisica della R. Università di Torino, è il più proprio alle dimostrazioni nella scuola. I motori fatti con due tamburi concentrici, l'uno fisso e l'altro mobile, muniti alle loro periferie di calamite temporarie che agiscano le une sulle altre a distanza, hanno il vantaggio della ruotazione immediata, ma la forza magnetica dovendo agire a distanza perde rapidamente della sua gagliardia per quanto l'intervallo sia piccolo. Nel modello descritto l'attrazione magnetica dell'àncora di ogni binario, si fa in alcune parti al contatto e nelle altre a distanze gradatamente sempre più piccole.

1516. Sulla proprietà del ferro dolce di acquistare il magnetismo all'istante che circola intorno ad esso la corrente elettrica e di perderlo tosto che cessa la circolazione, Froment ha impresso delle oscillazioni nell'àncora, per le quali succedono degli urti consecutivi con tale rapidità da generare un suono distinto (1). L'istrumento si compone essenzialmente d'una calamita voltaica e d'una piccola àncora, che può oscillare fra il polo ed una fermatura contro cui una molla tende a spingerla. Il congegno è così disposto che la corrente transita per la fermatura e per l'àncora nel filo di rame, dove circolando rende magnetizzato il ferro della calamita voltaica, e questa attrae tosto l'àncora ed interrompe il circuito, per cui l'àncora stessa, cessando la forza attrattiva, è spinta di nuovo contro la fermatura. Le attrazioni dell'àncora in virtù della calamita e le spinte della medesima in causa della molla producono con estrema rapidità degli urti successivi e quindi dei suoni, i quali si fanno variare per mezzo di viti che cambiano l'ampiezza delle vibrazioni in un alla forza della

(1) *Annali di fisica* ec. [illegible] pag. 173

molla. L'istrumento è stato destinato dall'autore ad alcune applicazioni nella scienza:

Facendo percorrere pel filo d'un elettromagnete la corrente elettrica diretta alternativamente per contrario verso, se ne cambiano successivamente i poli, i quali, attraggono prima e poscia respingono quelli d'una calamita permanente. Collocando due elettromagneti coi loro poli contrari in presenza di quelli d'una calamita congiunta alla verga del pendolo, questo sarà attratto da un lato e poscia dall'opposto coll'inversione della corrente, e conserverà in virtù di tali forze il suo moto d'oscillazione senza bisogno di molle o di pesi. Si è in tal modo che si sono costrutti i pendoli elettro-magnetici (1).

1517. I suoni si producono coi metalli mediante l'elettrico senza aver bisogno dell'aiuto delle calamite voltaiche. Il fisico Gattoni di Como, amico di Volta, avendo tesi dei fili metallici nel suo giardino, ne ha più volte udito dei suoni distinti, dei quali doveva essere causa l'elettricità atmosferica (2). Lo stesso è avvenuto in tempi a noi più vicini nei fili dei telegrafi, dai quali si udirono dei suoni durante gli uragani. D'altronde, sin dai primi anni della comparsa del pilære, Fabbroni, facendo transitare la corrente elettrica per fili di metallo, ne ricavò dei suoni, che risultavano più distinti nel ferro. Questi fenomeni furono studiati e variati in questi ultimi anni da parecchi fisici stranieri ed italiani e si ottengono ben anche abbastanza distinti per renderli sensibili contemporaneamente a parecchie persone nella scuola (3). Dei risultati delle loro sperienze daremo qui il sunto.

Si tenda sopra il monocordo (§. 705) un filo di ferro: al momento che s'introduce per esso la corrente elettrica o la s'interrompe, il filo medesimo produce un suono percettibile. Con cinque coppie di Grove s'imprime un suono assai forte in filo di ferro del diametro di 2 millimetri e della lunghezza di quasi 2 metri. Questi effetti, al pari dei calorifici, riescono meglio quando la resistenza del filo eguaglia quella della pila (§. 1454), per cui bisogna adoperare poche coppie a grandi piastre (§. 1450); infatti due coppie alla Grove, le cui piastre avevano 25 centimetri di lato, hanno dato dei grandi effetti, mentre una pila di 20 coppie alla Daniell non ne produceva dei percettibili. Lo stesso succede operando con iscariche di grandi macchine a stropicciamento

(1) *Annali* suddetti, t. XVIII, pag. 326, e 2a serie, t. I, pag. 313.

(2) I medesimi *Annali*, t. XXIV, pag. 274.

(3) *Annali di fisica* ecc., t. XVII, 223, t. XXI, 169 e 170, t. XXII, 274, t. XXIII, 123, e t. XXIV, 45.

1518. S'imprimono i moti vibratorii nel filo senza far transitare per esso la corrente. A tal fine ad un tubo di vetro, del diametro di uno o più centimetri, si avvolga un filo di rame coperto di seta della grossezza di 2 in 3 millimetri. I giri siano serrati l'uno a contatto dell'altro e sovrapposti per 5 in 6 ordini e formino delle eliche di circa un decimetro di lunghezza. Introducendo il tubo nel filo di ferro teso sul monacordo e portandolo in diverse posizioni mediante un sostegno, si trova che, al momento transita la corrente per la spirale od è interrotta, il filo stesso produce un suono più o meno distinto secondo la posizione del tubo. L'effetto riesce più forte quando l'elica corrisponde sulle due porzioni le più vicine al punto di mezzo del filo teso, od ai nodi (§. 714). I fili che vibrano meglio sono quelli di ferro assai dolce del diametro di 2 a 4 millimetri.

1519. Operando tanto colla corrente trasmessa quanto colla circolante, s'intendono parecchi suoni ad un tempo. Il più distinto è l'ottava acuta del tuono fondamentale, che si ottiene dalle vibrazioni impresse nel modo ordinario. Il suono prodotto per trasmissione della corrente è generalmente un poco più basso di quello generato dall'azione della medesima circolante per la spirale, e ciò in causa del lieve riscaldamento provato dal filo nel passaggio della corrente. Una tale differenza sparisce se il filo è abbastanza grosso da non essere riscaldato.

La tensione più o meno grande del filo influisce sulla produzione del suono. Un filo di ferro dolce della lunghezza di metri 1,9 e del diametro di 1 millim., ha dato i suoni più intensi per mezzo della corrente circolante quando aveva la tensione d'un chilogrammo. L'intensità diminuiva aumentando la tensione. Lo stesso si è trovato con un filo di ferro della grossezza di 2 millimetri e della stessa lunghezza del precedente. In queste sperienze, per compiere ed interrompere il circuito più volte in breve tempo, conviene servirsi d'un reotomo (§. 1418), il migliore dei quali, per non avere dei rumori che confondano i suoni, consiste in una ruota con cilindretti di ferro alla periferia e in comunicazione con un reoforo del piliere: rivolgendo la ruota, i cilindretti s'immergono successivamente nel mercurio dove pesca l'altro reoforo. Con tale ordigno si ottiene una successione di suoni e si stabilisce la velocità conveniente, perchè essi acquistino il massimo grado di forza.

1520. Non solo nei fili metallici si ottengono dei moti vibratori in virtù dell'elettrico; ma ben anche nei metalli in massa di diversa forma e ridotti eziandio in lamine sottili. A tal fine bisogna avere a disposizione una specie di tubo o rocchella di diametro più

o meno grande secondo le dimensioni del corpo da sottoporsi al cimento All'intorno della rocchella è avvolto un filo di rame, pel quale s'introduce la corrente elettrica Il corpo da cimentarsi è collocato nell'asse della rocchella, ed all'atto del passaggio o dell'interruzione della corrente si ha un suono, il quale riesce più distinto nel ferro dolce che in altri metalli, quando il corpo è di ferro crudo oppure di acciaio o d'altri metalli, si richiede una corrente più forte. Una massa di ferro del diametro di 1 decim. e del peso di 10 chilogrammi, posta nella rocchella, rende un suono distinto eguale a quello che si ottiene colla percossa. Introducendo nell'asse della rocchella un tubo di sottilissima lamina di ferro dolce assicurato a disco di legno in comunicazione con una cassa armonica, si hanno dei suoni chiari ad ogni passaggio ed interruzione della corrente per la spira avvolta alla rocchella. Una verga di ferro, del diametro di 1 cent. e della lunghezza di alcuni metri s'introduca nella rocchella e si assicuri per una sua estremità alla cassa armonica all'atto del passaggio e dell'interruzione della corrente rende, oltre il suono corrispondente alle sue vibrazioni trasversali, altri suoni ben sostenuti e percettibili. Si conseguisce il maggior effetto quando la spirale corrisponde verso il mezzo o il quarto della verga, del tubo o del cilindro di ferro dolce Il ferro dolce, per le magnetizzazioni e smagnetizzazioni prodotte in virtù delle correnti discontinue, è il metallo che meglio si presta alla produzione del fenomeno, il quale si ottiene eziandio con lamina sottile dello stesso metallo e col corista introdotto egualmente con un braccio nell'asse della rocchella

1321. I fenomeni descritti dipendono certamente da movimenti vibratorii, che l'elettrico imprime nelle molecole della materia ponderabile, e che riescono molto più sensibili nei corpi magnetici. Tali movimenti sono dimostrati da sperienze dirette, nelle quali i corpi, sotto l'azione dell'elettrico, mentre subiscono un aumento nella lunghezza, provano l'eguale diminuzione nella grossezza (1), il che è il carattere delle vibrazioni atte alla produzione dei suoni (§ 695). D'altronde un sottilissimo disco di ferro, spalmato con materie grasse per farlo galleggiare sull'acqua d'un vaso, fu collocato nel mezzo della rocchella, ed all'atto dell'azione della corrente elettrica discontinua si scorgeva sulla superficie del liquido un lieve movimento ondulatorio all'intorno della circonferenza. Sperimentando nell'egual modo con un disco traforato nel mezzo, l'oscillazione dell'acqua si

(1) *Annali di fisica ecc. succitati*, t. xxvi, pag. 283 e t. xxvii, pag. 183.

mostrava più distinta al centro che alla periferia. La limatura di ferro dolce, posta sul fondo d'una scatola di cartone dentro la rocchetta, concepisce dei movimenti particolari sotto l'azione della corrente discontinua e produce eziandio una specie di sibilo. A tale effetto bisogna che sia molto minuta ed abbia l'altezza di alcuni millimetri. Il nicolo ed il cobalto presentano l'egual fenomeno.

De la Rive, che si è molto occupato di questi fenomeni, adoprava anche per reotomo una ruota dentata somigliante a quella dell'elettromotore per induzione. Egli, coll'introduzione ed interrompimento accelerato della corrente, giunse a produrre nel corpo magnetico un sibilo consonante con quello generato dagli urti successivi e rapidi dei denti della ruota (t. xxiv, pag. 46). Ha trovato altresì che un filo di ferro, previamente magnetizzato, manifestava, sotto l'azione dell'elettrico, un suono più acuto d'altro filo eguale allo stato naturale, dove sembra che gli urti fra le molecole, in causa delle magnetizzazioni permanente e temporaria, si contrastano e generano un suono più acuto. Riscaldando gradatamente il filo di ferro, il suono indotto dalla corrente aumenta notabilmente nei primi gradi di calore, ma quando ha acquistato il calore rosso-bianco diminuisce di molto. Durante il raffreddamento si sentono suoni assai distinti somiglianti a quelli di parecchi campanelli risuonanti. La coesione, che riacquista il suo potere sulle molecole nel raffreddamento, e l'azione elettrica concorrono assieme a produrre un moto intestino nella massa metallica e ne rendano maggiore l'effetto. Sotto la duplice azione del calorico e dell'elettrico De la Rive ha fatto risuonare fili di rame, d'argentone, di platino del diametro di 1 in 2 millimetri e della lunghezza di 1 metro.

Dai risultati precedenti si deduce che l'azione discontinua dell'elettrico come pure la magnetizzazione determinano nei corpi un moto intestino, il cui effetto riesce più pronunciato nei corpi magnetici. Sembra, con molta probabilità, che sia un fenomeno analogo il cambiamento di tuono, che ha subìto la campana d'un orologio durante l'imperversare d'un violento uragano accompagnato da scariche elettriche (1).

1522. L'elettrico non solo attrae i corpi come il ferro, il nicolo ecc. e comunica ad essi le proprietà magnetiche, ma esercita la sua azione sulle calamite. Romagnosi sin dall'anno 1802 aveva annunziato quest'importante fenomeno (§. 1309); ma le vere condizioni per ottenerlo

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xxvi, pag. 167.

secondo la posizione dell'ago si conobbero soltanto nell'anno 1820 per opera di Oersted da Copenaghen, che ha stabilito così i fondamenti dell'elettro-magnetismo. Si apprende quindi come lo stesso apparato, di cui l'Italia vanta il celebre inventore, dopo aver tanto contribuito ai progressi della fisica, della chimica e di altre umane discipline, sia non solo fonte perenne di elettricità, di luce e di calore, ma ben anche di magnetismo, fissando in tal guisa un'epoca memorabile nei fasti dell'umano sapere e gettando una nuova luce sulla natura delle calamite.

Allo scopo di verificare il fatto fondamentale, si abbia l'ago calamitato SN in bilico sopra un perno (fig. 409), e, dopo che ha preso la direzione naturale verso i punti cardinali del mondo (§ 1506), gli si accosti parallelamente il filo di rame *ab*, il quale si mette in comunicazione coi poli della pila od anche d'una sola coppia voltaica di grandi piastre. Imaginiamo l'osservatore situato al sud colla faccia rivolta verso il nord, il filo posto superiormente e in direzione parallela all'ago, come nella figura, e la corrente diretta pel filo dal sud al nord: al momento della circolazione dell'elettrico, l'estremità boreale (N) dell'ago si getta bruscamente all'ovest od alla sinistra dell'osservatore, deviando di parecchi gradi secondo l'intensità della corrente e mettendosi ben anche in posizione normale al filo, se non vi fosse l'azione direttrice della terra o la corrente avesse abbastanza energia da vincerla. Che se la corrente invece sia diretta dal nord al sud e il filo congiuntivo sia egualmente situato per rispetto all'ago, allora l'estremità boreale di questo si rivolge all'est od alla destra dell'osservatore. Le deviazioni avvengono dai lati opposti ai precedenti quando il filo, per cui transita nei due casi la corrente, è collocato parallelamente al disotto dell'ago calamitato.

Lo stesso accade se l'ago calamitato galleggia sopra la superficie d'un liquido stagnante od è sospeso orizzontalmente ad un filo di bozzolo. Quando l'ago è girevole sopra un asse orizzontale piantato nel suo centro, i movimenti prodotti in esso dalla corrente elettrica osservano le medesime leggi. Per definirle in qualunque caso si è imaginato che la corrente entri pei piedi dell'osservatore e ne esca dalla testa e che questi abbia sempre la faccia rivolta verso l'ago. Raffigurandosi l'osservatore situato in modo che sia parallelo al filo, abbia i piedi all'estremità per dove entra la corrente e l'ago di fronte, l'estremità boreale si rivolge sempre alla sinistra (fig. 410). In generale dunque *la corrente fa deviare l'ago calamitato e tende a metterlo in direzione ad essa normale col polo boreale alla sinistra e l'australe alla destra.*

È questa la legge generale della bella scoperta dell'illustre Danese, la quale fu tosto ripetuta e verificata in ogni sua parte dal mondo dotto. Fra gl'Italiani, il primo che ne diede un circostanziato ragguaglio fu il prof. Baccelli (1); essendo stato poscia soggetto di ulteriori studi d'Italiani e stranieri e principalmente d'Ampère, il quale ritrovò una serie di nuovi fatti e determinò la legge generale dell'azione delle correnti sulle calamite deducendone delle conseguenze di grande importanza per la teorica del magnetismo (2). Biot e Savart, con una serie d'esperienze, hanno determinato la variazione, che subisce la forza della corrente sull'ago secondo la distanza. Primieramente con calamite, poste di contro ai poli, annullarono la forza direttrice del globo; poscia portarono la corrente d'una pila a forza costante a diverse distanze valutandone l'azione sull'ago col mezzo delle oscillazioni (§. 1418), e trovarono che *l'intensità della forza elettro-magnetica è in ragione inversa della semplice distanza*. Si osservi però che la corrente è rettilinea e di lunghezza indefinita per rapporto all'ago ed alla distanza, ed è soltanto sotto queste condizioni che si verifica la legge. Ma per la forza elettro-magnetica elementare o d'una sezione della corrente, si dimostra col calcolo che *l'intensità della forza è in ragion inversa del quadrato della distanza*, ed inoltre *è proporzionale al seno dell'angolo formato dalla direzione della corrente e dalla retta condotta dal mezzo di quella sezione sulla metà della calamita.*

1523. Avanti di progredire nello studio dell'elettro-magnetismo, dobbiamo far conoscere come la scoperta di Oersted abbia fatto nascere a Schweiger l'idea dello strumento per la misura delle correnti elettriche, del quale si è fatto già uso nell'elettricità dinamica sotto il nome di galvanometro. Ad un filo di bozzolo è appeso un fuscellino di paglia od una specie di staffa, che porta l'ago calamitato *ab* nel mezzo del rettangolo *pqrmn* che fa parte del filo congiuntivo della pila (fig. 314). È facile comprendere, dietro la legge dichiarata, che l'ago sarà sollecitato nel medesimo verso dalla corrente che transita pei quattro lati del rettangolo, e le quattro forze tenderanno a farlo deviare dalla direzione ch'esso prende riguardo ai poli del mondo. Se il filo di rame fa due, tre o più giri, l'azione primitiva della cor-

(1) *I fenomeni elettro-magnetici* ecc. Modena 1821.

(2) *Théorie des phénomènes électro-dinamiques* ecc. Parigi 1826, ed *Exposé des nouvelles découvertes sur l'électricité et le magnétisme*, di Ampère e Babinet. Parigi 1822.

rente sull'ago sarà duplicata, triplicata e in generale moltiplicata, e la deviazione prodotta dalla medesima corrente risulterà tanto più grande quanto più è grande il numero dei giri. Su questo principio è appunto costrutto lo stromento, per la misura delle correnti elettriche, chiamato *galvanometro* ed in generale *reometro*. Il *galvanometro semplice* ha il filo congiuntivo che trascorre parallelamente all'ago una sol volta. L'ago calamitato, posto in bilico sopra un perno nel centro d'un cerchio graduato, è un vero galvanometro semplice. Sul disco è teso il filo di rame della grossezza di qualche millimetro, che va a terminare in due punti diametralmente opposti in congiunzione con morsetti o pozzetti di mercurio, dove mettono capo i reofori della pila. L'energia della corrente si desume dalla deviazione dell'ago misurata in gradi, scolpiti sul lembo dello strumento. Nel *galvanometro moltiplicatore* il filo di rame è avvolto per parecchi giri attorno ad un telaio di legno, nel cui spazio di mezzo è sospeso l'ago orizzontalmente e può muoversi liberamente per ogni lato. Il filo è coperto di seta per poter avvicinare i giri fra loro e formarne parecchi strati sovrapposti l'uno all'altro. Col numero dei giri si moltiplica la forza deviatrice dell'ago, per cui lo strumento riesce più sensibile.

1524 Quanto più l'ago è dotato di magnetismo, tanto più ha forza la corrente a rimoverlo dalla posizione naturale; d'altra parte però l'ago stesso persiste con maggior energia a conservare la direzione dei poli della terra, e il guadagno in sensibilità per la moltiplicazione della corrente è perduto per l'azione della terra. Nobili ha avuto l'ingegnosa idea di rendere il sistema degli aghi *astatico*, ossia di toglierlo all'influenza della terra ed ha costrutto il *galvanometro a due aghi* od a *sistema astatico* (1), che è il solo in uso nelle sperienze e nelle indagini delicate dell'elettricità dinamica. L'artificio del fisico italiano consiste nel congiungere ad una staffa rigida i due aghi paralleli fra loro e coi poli rivolti in contrario verso (fig. 412). L'uno è collocato nello spazio interno del telaio, mentre l'altro resta esterno e serve d'indice per segnare l'angolo di deviazione sul cerchio graduato assicurato al telaio.

Se i due aghi sono forniti d'egual forza magnetica, l'attrazione esercitata dalla terra sul polo *n* dell'ago esterno è per intero eguagliata dalla ripulsione sul polo *s* dell'ago interno, ed è lo stesso dei due poli opposti. Si ha in tal modo una compensazione e il sistema

(1) *Memorie ed osservazioni* ecc., t. I, pag. 1 e t. II, pag. 27

dei due aghi può rimanere in qualunque posizione ossia è *astatico*. Siccome l'eguaglianza di forza magnetica nei due aghi è difficile a combinarsi; così rimane sempre nel sistema una debole forza, che serve a ricondurlo nella primitiva posizione dopo l'azione della corrente elettrica e che è necessaria per misurare col suo contrasto la diversa forza delle correnti. L'azione della corrente sull'ago esterno tende a far deviare il sistema nello stesso verso dell'azione sull'ago interno. Imperocchè l'azione più energica è prodotta dal complesso dei giri superiori del filo, i quali, quantunque colla corrente agiscano sull'ago esterno rivolte in contrario verso, spiegano però al disotto del medesimo una forza cospirante con quella esercitata al disopra dell'ago interno (§. 1522).

Il galvanometro, come si è veduto nel corso del capitolo precedente, ha reso importanti servigi alla scienza, potendosi con esso scoprire l'esistenza delle più lievi correnti e riconoscerne tosto la direzione dal lato secondo cui succede la deviazione dell'ago. Il galvanometro compiuto è rappresentato nella fig. 413, dove vedesi il sistema dei due aghi sospeso ad un filo di bozzolo e coperto da una campana di vetro per difenderlo dalla polvere e dagli agenti esterni. Il basamento è sostenuto da tre piedi a vite per mettere a giusto livello il piano del telaio, sul quale è assicurata una lastra di rame con lembo graduato per la misura dell'angolo di deviazione. Dopo aver disposto l'istrumento nella situazione in cui l'ago corrisponda prossimamente allo zero della graduazione, si conduce esattamente su questo punto rivolgendo la vite di chiamata V, con cui gira un asse e con esso il telaio. È essenziale di adoperare, pel filo moltiplicatore, rame ben puro scevro di ferro e di altri metalli magnetici, che agiscono sull'ago e ne alterano la posizione. La staffa del sistema degli aghi si compone eziandio di sottilissimi fili di rame. All'oggetto di conseguire la maggiore sensibilità, gli aghi devono avere una sufficiente lunghezza ed essere di poca massa, onde non presentare coll'inerzia grande resistenza alla forza motrice della corrente. Nobili dava agli aghi la lunghezza di 42 in 43 millimetri, e il diametro minore di 4 millimetro, ponendoli fra loro alla distanza di 12 in 13. Il filo moltiplicatore di rame ricotto ha la grossezza di $^1/_4$ millimetro e la lunghezza di 70 metri, fa 500 giri attorno al telaio disposti in strati sovrapposti ben isolati fra loro con copertura di seta. Se ne sono fatti con filo più sottile di 2500 ed anche di 3000 giri disposti a più strati. In questo caso il filo ha il diametro minore di $^1/_6$ di millimetro. Il fondo è aggravato di piombo per dare allo strumento

maggiore stabilità. Si è cercato di far variare la sensibilità del galvanometro colla presenza di corpi calamitati (1), i quali riescono imbarazzanti nell'uso dello strumento ed alterano col tempo il magnetismo degli aghi, per cui furono abbandonati. Qualche altro fisico ha pure cercato di migliorare la costruzione del galvanometro, come dagli stessi *Annali*, t. vi, pag. 41. Per le correnti termelettriche il filo è più grosso e meno lungo (§ 1392), ed ha ordinariamente il diametro di $^1/_2$ millimetro e la lunghezza di 13 in 14 metri, avvolto ad un telaio più basso con 120 in 130 giri, gli si è dato eziandio il diametro di $^2/_3$ di millimetro e soltanto 50 giri.

1525. La corrente elettrica, nel transitare pei giri del filo galvanometrico, agisce nel primo istante colla massima energia; ma a misura che l'ago è discostato dalla direzione dei giri del filo, la sua azione va diminuendo in causa dell'obliquità e della distanza. Allo scopo di avere almeno l'azione diretta di porzione della corrente, sull'ago Marianini ebbe l'idea di avvolgere il filo al telaio in modo che coi suoi tratti, incrociandosi nel mezzo sopra e sotto, si distendesse ai lati opposti a guisa di ventaglio e presentasse delle direzioni sempre più divergenti da quella media (2). In tal modo si ha il *galvanometro a filo incrociato* o *galvanometro a ventaglio* (fig. 414), che può essere utile in qualche caso, ma che non si presta alla moltiplicazione dei giri come il sistema ordinario.

Per le dimostrazioni nella scuola serve il *galvanometro verticale*, i cui movimenti possono essere veduti ad un tempo da un numeroso uditorio. Al telaio d'ottone *abcd* (fig. 415) è avvolto il filo moltiplicatore, i cui capi si prolungano sino alla base di legno dello strumento per metterli in comunicazione colla pila. Il sistema degli aghi è astatico, il cui asse corrisponde al centro del cerchio graduato ed è mobile sopra rotelle ed anche sopra sottili punte d'acciaio poste in cavità fatte agli estremi. Si suol dare al cerchio graduato il diametro di 30 e più centimetri cogli aghi di lunghezza proporzionale.

1526. I galvanometri a due aghi servono ad esplorare l'intensità di tenuissime correnti elettriche, e quando si tratta della misura della corrente di una coppia di qualunque pila, gli aghi concepiscono un movimento, con cui descrivono l'intero circolo graduato facendo anche parecchie rivoluzioni. Essi riescono per l'elettricità dinamica ciò che gli

(1) *Annali di fisica*, ecc., t. vi, pag. 252 e t. x, pag. 268.

(2) *Esercitazioni scientifiche e letterarie dell'Ateneo di Venezia*, 1829, t. i, pag. 313, e *Memorie di fisica sperimentale*, Modena, 1837, pag. 3.

elettrometri a pagliuzze, a foglietta d'oro ed'esiandio a palline (§. 1250) sono per quella statica D'altronde l'ago calamitato ad un solo filo, come il galvanometro semplice (§. 1523), non si presta per la misura dell'indefinita gradazione di forze che presentano le correnti prodotte da combinazioni voltaiche di differenti dimensioni ed energia. Bisognerebbe avere pronti in ogni caso aghi di diversa grandezza posti a differente distanza dal filo per cui transita la corrente. Non si aveva insomma uno strumento che nell'elettricità dinamica potesse servire come l'elettrometro a quadrante in quella statica (§. 1249) A tal fine io ho imaginato il *galvanometro universale*, ormai in uso in tutti i gabinetti di fisica (1).

L'istrumento è rappresentato nella fig. 416 veduto dal basso all'alto, mentre nella figura 417 si osserva dalla parte superiore il cerchio graduato unitamente all'ago magnetico ed agli altri ordigni che andremo dichiarando.

La base triangolare AA di legno appoggia sopra tre piedi d'ottone a vite V (fig. 416), coi quali si mette a livello il piano dello strumento. Nel centro della base è infissa la colonnetta verticale B, che sostiene in posizione orizzontale il cerchio graduato CC. La colonnetta è traforata lungo il suo asse, e dentro di essa può scorrere liberamente un'asticella cilindrica d'ottone portante alla sua sommità la punta d'acciaio su cui riposa in bilico l'ago calamitato, che è girevole orizzontalmente e le cui deviazioni vengono indicate sul cerchio graduato sottoposto. L'asticella, lungo l'asse della colonnetta B, è fornita di denti che imboccano con quelli d'un rocchetto mobile intorno al suo asse mediante il cilindro d'ottone E. Il rocchetto nei rivolgimenti spinge l'asticella e l'innalza o l'abbassa, secondo che sono fatti nell'uno o nell'altro verso, e con essa s'innalza o s'abbassa l'ago calamitato.

Al lembo del cerchio graduato sono assicurati due piccoli prismi d'avorio P, Q (fig. 416 e 417) diametralmente opposti, verso il mezzo dei quali è praticato un foro dove è innestata una cannuccia d'ottone elastica nella parte sporgente al disotto. Entro ciascuna cannuccia si move a sfregamento il tubo di vetro FG, che può essere più o meno innalzato sul piano del cerchio graduato. Pei due tubi passa comodamente il filo di rame rivestito di seta, che è disteso lungo GG parallelamente al diametro del cerchio. Le estremità del filo nell'uscire

(1) *Annali delle scienze del Lombardo-Veneto*, bimestre 2° e 3° del 1838, ed anche *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XIII, pag. 207

dai tubi sono piegate in elica e sono congiunte a due imboccature d'ottone *a* innestate nei pezzi d'avorio P, Q. A ciascuna imboccatura *a* corrisponde verso lo spigolo laterale opposto dei due prismi P, Q, l'altra *b* pure d'ottone e nei medesimi inserita. Colle imboccature *b* si uniscono gli estremi d'altro filo di rame *gg* simile al precedente e disteso sul cerchio graduato in modo che coincide con un suo diametro e riesce parallelo all'altro GG. Allorchè il piano, che passa pei fili GG, *gg* è disposto nella direzione del meridiano magnetico, l'ago calamitato risulta ai medesimi interposto e parallelo. Nelle imboccature *a*, *b* entrano e si adattano ad esatto combaciamento dei piuoli d'ottone foggiati a tronco di cono, l'uno doppio I e gli altri due piegati a squadra H, di cui vedremo quanto prima l'uso.

Alle estremità del diametro corrispondente al filo *gg* vi ha segnato zero, e la divisione in gradi si estende a destra ed a sinistra sul lembo del cerchio per l'intiero quadrante sino a 90 gradi, talchè questo numero segna l'estrema divisione dei quadranti a destra ed a sinistra dei due zeri. L'ago, allorchè oscilla per l'impulso ricevuto dalla corrente transitante pei fili, si restituisce tosto alla quiete per nuove osservazioni abbassandolo e facendolo riposare sul piano sottoposto col rivolgere opportunamente il cilindretto E. L'ago è difeso dalle agitazioni dell'aria e dagli agenti esterni per mezzo d'una campana o di una zona di cristallo ritenuta dai fili d'ottone *pq*, e coperta da una lastra pure di cristallo.

Volendo far uso dello strumento, si dispone il piano GG*gg* in modo che sia prossimamente nella direzione dell'ago o del meridiano magnetico e si mette orizzontale il cerchio graduato spingendo o rallentando le viti dei piedi V. Quando la coincidenza di quel piano coll'ago non sia esatta, si condurrà nella giusta posizione girando la verghetta cilindrica MN, la quale colla sua spira fa ruotare il rocchetto dentato congiunto col piano del cerchio. Disposto in tal guisa lo strumento, ecco come si adopera: se trattasi di deboli correnti, si abbassa l'ago sino quasi a contatto del filo inferiore *gg* mediante il manubrio E, e si abbassa del pari l'altro filo GG sino quasi a toccare il lato superiore dell'ago galvanometrico *ns*, tirando all'ingiù i tubi FG. S'introduce poscia il doppio piuolo I nelle imboccature *a*, *b* d'uno dei due prismi Q ed i piuoli a squadra H nelle imboccature *a*, *b* dell'altro prisma P. Ai due piuoli H sono congiunti i reofori della coppia o della pila, di cui si vuole misurare l'energia della corrente, la quale, entrando per *b* transita pel filo *gg* al disotto dell'ago, percorre il doppio piuolo I, e lungo il filo GG superiore all'ago giunge al reo-

foro in *a* per riprendere il suo corso. La corrente esercita quindi una doppia azione cospirante sull'ago e ad una distanza molto piccola. S'ingenera per tali forze, a malgrado della tenuità della corrente, un moto di deviazione nell'ago indicato in gradi sul cerchio sottoposto. Quando le correnti siano capaci con questa disposizione di dare all'ago degli impulsi, per cui esso descriva l'intero quadrante, allora s'innalza il filo GG, spingendo i tubi FG, e si allontana ben anche convenientemente dall'altro filo *gg* mediante il manubrio E. Che se la corrente è abbastanza energica da riuscire ancora troppo sensibile all'ago per la doppia azione lungo i fili GG, *gg*, si fa allora transitare pel solo filo *gg*. A tale scopo si spinge il filo GG alla sua maggiore altezza, si leva il doppio piuolo I, e si appoggiano i piuoli H, coi quali comunicano i reofori, alle imboccature *b*, *b* dei due prismi P, Q. In tal guisa l'ago magnetico prova l'azione della corrente pel solo filo *gg*, da cui si può discostare più o meno secondo l'energia della medesima. Quando la distanza dell'ago dal filo sia di alcuni centimetri, riesce già adatto per la misura di correnti molto energiche. La verghetta cilindrica, su cui riposa l'ago, è divisa in millimetri, che misurano la distanza dell'ago stesso dal filo *gg*, talchè, all'appoggio della legge che *la forza direttrice della corrente lineare indefinita sull'ago calamitato è in ragione inversa della distanza* come si è detto (§. 1522), si potranno confrontare le misure avute coll'ago a diverse elevazioni. Il galvanometro universale può comodamente servire a dimostrare nella scuola le leggi dell'azione delle correnti sull'ago calamitato (§. 1522).

1527. Il conduttore della corrente all'intorno dell'ago si è formato con due fili coperti di seta ritorti l'uno sull'altro come le funi, e si è composto così il *galvanometro differenziale*. I fili d'ordinario hanno la lunghezza di 3 in 4 metri ed il diametro di 1 millimetro. I capi di ciascuno dei due fili, che formano il conduttore avvolto al telaio come nel moltiplicatore, si congiungono rispettivamente con quattro morsetti. Introducendo per uno dei fili la corrente d'una pila e per l'altro la corrente diretta in contrario verso d'una seconda pila, vi sarà un contrasto d'azione sull'ago delle due correnti, le quali s'elideranno se sono eguali, ed altrimenti lo strumento indicherà la loro differenza d'intensità.

Il mio galvanometro si presta eziandio come strumento differenziale, facendo transitare l'una delle correnti pel filo inferiore e l'altra pel filo superiore dirette in opposto verso e ad eguale distanza dall'ago calamitato. Il galvanometro differenziale serve comodamente

per alcune indagini particolari, è con questo metodo io aveva proposto quello universale per istabilire il grado di conducibilità relativa dei liquidi (1).

1528. Alcuni per la misura delle correnti si sono serviti di forze differenti da quella direttrice del globo. Tremonger ha fatto dell'areometro uno strumento per l'elettro-magnetismo, applicando a tale misura la spinta verticale dei liquidi (§. 558), ed imaginando così il *galvanometro idrostatico* (2).

Nel centro della base di legno AB è piantato un recipiente cilindrico di vetro (fig. 418) composto di due parti, l'inferiore CD di diametro minore dell'altra DE. Il tubo dell'areometro tiene appesa la calamita SN col polo boreale rivolto al basso, e ad esso sono avvolti due fili moltiplicatori tenuti dal pezzo coibente F alla distanza eguale a quella dei poli della calamita. I due fili comunicano per uno dei loro capi *p*, *m*, in modo che la corrente elettrica, dopo aver percorso il filo inferiore, entra nel superiore e circola pei giri di questo in verso opposto a quello pei giri dell'altro. I due capi liberi *ny*, *qz* si immergono nel mercurio contenuto nei piccoli pozzetti oppure potrebbero congiungersi con due morsetti per introdurre nel circuito della pila i due fili moltiplicatori. La corrente agendo in tal maniera sulla calamita, tende ad abbassarla e ad immergere più o meno l'areometro secondo la forza di cui è dotata. La scala applicata lungo il recipiente indica i gradi di sprofondamento e quindi quelli della forza della corrente. Quando le correnti sono molto forti si adopera un solo filo moltiplicatore. Volendo conoscere la forza relativa di due correnti, s'introducono separatamente nei fili agenti sulla calamita in opposto verso, e si ha così un galvanometro differenziale.

Becquerel ha adoperato per la misura delle correnti la forza di gravità trasformando la bilancia elettrica di Volta (§. 1234) in *bilancia elettro-dinamica*, nella quale il filo moltiplicatore, attraversato dalla corrente, agisce sopra una calamita appesa ad un guscio (3). Sullo stesso principio Ward ha costruito un galvanometro (4).

1529. Ognuno sa che i gradi segnati dal galvanometro non sono proporzionali alle intensità delle correnti, e le misure che se ne

(1) *Atti del secondo congresso italiano* tenuto in Torino, pag. 57, ed *Annali di fisica* ecc., t. I, pag. 239.

(2) *Annali di fisica* ecc., più volte citati, t. V, pag. 250.

(3) *Traité de l'électricité et du magnétisme* ecc., t. V, parte 1ª, pag. 209.

(4) *Annali* suddetti, t. XXIV, pag. 476.

lisano non riescono fra loro comparabili. Allo scopo di avere i valori della corrente dalle indicazioni dell'ago, si è determinato ogni arco di deviazione in unità di misura della forza della corrente nel modo che apprenderemo. Si è reso così comparabile ogni galvanometro con se stesso. Alla comparabilità però dei differenti galvanometri fra loro si oppongono parecchie difficoltà, non avendosi sinora punti fissi per avere due galvanometri comparabili costrutti in diversi tempi e luoghi. Infatti si può bene convenire che il telaio moltiplicatore sia fatto con fili di rame d'eguale grossezza, avvolto per lo stesso numero di giri similmente disposti e d'eguale lunghezza, ma per la comparabilità si richiede altresì che gli aghi abbiano egual forza magnetica. Dato anche che si ottengano aghi della stessa forza, questa può facilmente essere alterata dall'azione delle correnti e da quella della terra, come pure da scosse e da altre cause. Osservisi inoltre che la dimensione degli aghi e quella delle calamite in altri galvanometri (§. 1528), ha pure influenza sulla deviazione. D'altronde l'azione del magnetismo terrestre sulle calamite varia nelle diverse regioni della terra, e la forza direttrice, manifestata in Italia da un dato ago, diminuirebbe in paesi più distanti dal polo, per la ragione che il magnetismo del globo vien meno avvicinandosi all'equatore. Humboldt infatti ha osservato che l'ago magnetico, che faceva a Parigi 245 oscillazioni in 10', non ne faceva che 211 al Perù. Il galvanometro dunque non ha come il termometro due punti fissi in qualunque tempo, in qualunque luogo, che si prestino ad esser verificati da qualunque persona (§. 902). Insomma nello strumento pel calore tutto è stabile e determinato, ed in quello per le correnti elettriche tutto è incerto ed arbitrario. Si richiede non solo che la corrente sia costante, ma che nell'ottenerla colla combinazione prescritta abbia sempre l'eguale intensità. La scienza a dir vero possiede delle correnti costanti principalmente la termelettrica (§. 1394); ma perchè riesca sempre d'eguale intensità, bisognerebbe operare in ogni caso con elementi d'antimonio e bismuto esattamente identici nella qualità, nella forma, nella disposizione ecc., il che non è così facile ad ottenersi, nè si conoscono mezzi per accertarsene.

Venne altresì agitata la questione se i gradi galvanometrici del termomoltiplicatore (§. 1392) vadino d'accordo colle indicazioni del termometro comune, od abbiano almeno fra loro proporzionalità, vale a dire se le dilatazioni del fluido termoscopico e le indicazioni galvanometriche della corrente termelettrica conservino la medesima proporzionalità per ogni grado di calore. Melloni e

Biot hanno studiato la relazione fra le indicazioni galvanometriche e le differenze dei gradi di calore, cui erano sottoposte le congiunzioni della pila termelettrica (1), e dalle loro indagini risulta che i gradi del galvanometro si conservano esattamente proporzionali alle differenze delle temperature delle congiunzioni o delle facce della pila, e per conseguenza ai gradi che segna il termometro al disopra dello zero. Tale proporzionalità però si riscontra soltanto per l'estensione della scala galvanometrica, che comprende da 5 in 6 gradi del termometro centesimale per termomoltiplicatori comuni. Riguardo poi ai valori assoluti dei gradi del termomoltiplicatore, espressi in gradi del termometro ordinario, essi, come è naturale, variano nei diversi strumenti termelettrici secondo la natura dei metalli componenti le pile, la differente loro combinazione, la sensibilità del galvanometro e simili.

1330. Dalle precedenti osservazioni si scorge la difficoltà d'ottenere dei galvanometri comparabili. Nobili ha fatto degli sforzi ingegnosi a tale intento, ma egli riuscì soltanto a ridurre comparabili i gradi del medesimo stromento (2). Da molteplici indagini da lui fatte risulta che le intensità dei primi 4 gradi sono proporzionali ai gradi stessi, cioè ai numeri 1, 2, 3, 4. Superiormente al quarto grado incomincia a mostrarsi una divergenza fra le indicazioni in gradi e le intensità, la quale va sempre più crescendo coll'aumentare l'arco di deviazione dell'ago. Allo scopo di determinare la relazione in ogni caso fra le forze delle correnti e le indicazioni in gradi, l'illustre fisico italiano operava col mezzo d'un galvanometro differenziale (§ 1327). Misurava, p. e., una corrente di 10° lungo uno dei fili dello stromento, e poscia l'altra di 9° proveniente da una seconda sorgente. Infine dirigeva le due correnti separate, la prima per un filo e la seconda per l'altro filo in direzione opposta, ed aveva l'indicazione prodotta dalla differenza delle loro intensità, la quale era indicata da 2°. Da ciò si apprende che il grado che si ha passando da 9 a 10 equivale all'intensità di 2°. Operando in simil modo, ha determinato il valore d'un grado per le diverse grandezze dell'arco, ed ha trovato, p. e., che il grado da 18 a 19 equivale a più di 5° dell'unità, da 33 a 34 a più di 13° della stessa unità, e così ha proceduto con fatica e molto tempo nella valutazione di tutti i

(1) *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. III, p. 216, e la *Termocrosi*, p. 73.
(2) *Osservazioni ed esperienze* ecc. t. I, pag. 105 e seguenti.

successivi gradi superiori al quarto, compilando la *tavola delle intensità*, che qui riportiamo.

TAVOLA *delle intensità delle correnti.*

IN GRADI		IN GRADI		IN GRADI		IN GRADI	
galvano-metrici	di forza	galvano-metrici	di forza	galvano-metrici	di forza	galvano-metrici	di forza
1°	1,00	16°	32,18	31°	187,68	46°	604,20
2	2,00	17	36,78	32	206,87	47	645,14
3	3,00	18	41,98	33	227,00	48	688,28
4	4,00	19	47,78	34	248,25	49	733,74
5	5,20	20	54,18	35	270,55	50	781,52
6	6,40	21	61,28	36	295,96	51	832,50
7	7,80	22	69,08	37	318,48	52	886,68
8	9,40	23	77,68	38	344,22	53	944,41
9	11,20	24	87,08	39	371,18	54	1005,69
10	13,20	25	97,67	40	399,36	55	1070,87
11	15,53	26	109,53	41	429,14	56	1139,95
12	18,19	27	122,73	42	460,52	57	1213,33
13	21,19	28	137,10	43	493,62	58	1291,01
14	24,52	29	152,63	44	528,56	59	1373,39
15	28,18	30	169,49	45	563,34	60	1460,47

I valori dei gradi galvanometrici in gradi di forza della tavola valgono soltanto per le correnti idro-elettriche o della pila di Volta, per quelle termelettriche i rapporti sono differenti, e vennero determinati dall'altro fisico italiano, il prof. Melloni, cui doveva molto interessare la comparabilità del galvanometro per le moltiplici sue sperienze intorno al calorico irradiante. Ecco come procedeva in tale valutazione (1). Prendeva egli due piccoli vasi V, V' pieni per metà di mercurio, e rispettivamente in comunicazione coi morsetti G, G', dove mettono capo le estremità del filo galvanometrico (fig. 419). La corrente termelettrica è liberamente trasmessa pei fili reofori P, P' a circolare per la pila e pel galvanometro. Ma se, mediante il filo F, si congiunge il

(1) La *Termocrosi* ecc. succitata pag. 59

mercurio dei due vasi, la corrente si divide ed una parte passa pel filo stesso, per cui l'indicazione del galvanometro verrà diminuita. Melloni, facendo variare la distanza della sorgente calorifica dalla pila, ed osservando l'indicazione della corrente *totale* e di quella *ridotta*, ottenne i dati necessari per determinare i rapporti fra le *indicazioni galvanometriche* e le *forze corrispondenti*. Operando in tal maniera, egli trovò che sino a 13° le indicazioni dell'ago si accordano colle forze della corrente, e che nel resto si hanno, secondo le determinazioni di Melloni, le seguenti corrispondenze

gradi		forze		gradi		forze		gradi		forze
13°	—	13,0	—	19°	—	19,8	—	25°	—	28,6
14	—	14,1	—	20	—	21,0	—	26	—	29,7
15	—	15,2	—	21	—	22,2	—	27	—	31,5
16	-	16,3	—	22		23,5	—	28	—	33,4
17	—	17,4	—	23	—	24,9		29	—	34,5
18	—	18,6		24	—	26,4	—	30	—	37,5

Wheastone si serve del reostato (§. 1419) per trovare la corrispondenza fra le deviazioni angolari dell'ago e le forze della corrente (1), invece del filo di cui ha fatto uso Melloni; il quale, trattandosi di correnti termelettriche, ha dovuto evitare l'influenza del calorico svolto nello sfregamento e nella pressione delle molle di quello strumento

1531. Quando la corrente elettrica percorre un circolo disposto verticalmente nel meridiano magnetico e nel suo centro è mobile l'ago calamitato liberamente sospeso, si dimostra colla geometria che le intensità della corrente in circolazione sono come le tangenti delle deviazioni dell'ago dal meridiano medesimo. Questo principio è stato applicato da Nervander alla costruzione d'uno strumento galvanometrico, il quale fu poscia molto migliorato da Pouillet e chiamato *bussola delle tangenti* (2), di cui quest'ultimo si è servito per determinare il grado di conducibilità dei corpi per l'elettrico (§. 1333). L'apparato galvanometrico è rappresentato nella fig 420, dove il cerchio ha il diametro di 4 in 5 centimetri ed è formato d'una fettuccia di rame della larghezza di 20 millimetri e della grossezza di 2. La fettuccia, destinata a ricevere la corrente, si prolunga inferiormente in appendici, che s'immergono rispettivamente nel mercurio contenuto in due

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xv, pag. 272.

(2) *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. vi, parte 3ª, pag. 2498, ed *Élémens de physique* ecc. di Pouillet, 3ª edizione, t. i, pag 612.

vasetti, dove si fanno pescare anche i reofori della pila. Importa che il cerchio sia esattamente nel meridiano magnetico e il suo centro coincida con quello dell'ago calamitato, il quale, corto e grosso, è sospeso ad un filo di bozzolo. L'indice segna sopra un cerchio graduato orizzontale la deviazione prodotta dalla corrente. La bussola delle tangenti non ha moltiplicatore, per cui si presta soltanto alla misura delle intensità delle correnti d'una certa energia.

Pouillet ha imaginato un altro apparato galvanometrico conosciuto sotto il nome di *bussola dei seni*. Esso consiste in un cerchio verticale di legno o d'ottone, scavato alla sua periferia intorno a cui è avvolto il filo moltiplicatore per dove circola la corrente (fig. 421). Al centro del cerchio corrisponde quello dell'ago, mobile liberamente sul perno e rinchiuso in una scatola con due segni diametralmente opposti per condurlo unitamente al cerchio nel meridiano magnetico. Il cerchio verticale è assicurato sopra un albero girevole nel centro d'altro cerchio disposto orizzontalmente e diviso in gradi. Al momento che la corrente transita pel filo moltiplicatore, l'ago vien deviato dalla sua posizione: allora si fa ruotare l'albero e con esso il cerchio verticale per seguire l'ago e ricondurre i segni opposti della scatoletta nella sua direzione, in modo che l'ago medesimo e la corrente si trovino nello stesso piano verticale. Per ottenere la nuova coincidenza dell'ago coi punti segnati sulla custodia, si dovrà far ruotare l'albero per un certo numero di gradi segnati sul cerchio orizzontale. Ottenuta in tal maniera la misura degli angoli di rotazione, si dimostra facilmente colla geometria che l'intensità delle correnti riescono proporzionali ai seni degli angoli medesimi. Nella bussola dei seni, la corrente prende sempre la posizione più vantaggiosa alla sua azione, e malgrado di questo però l'apparato non riesce così sensibile, alle deboli correnti, come i galvanometri su descritti, in causa della distanza del filo moltiplicatore dall'ago.

1532. I galvanometri descritti hanno tutti per fondamento l'azione delle correnti sulla calamita. L'elettrico però in movimento produce altri effetti, dai quali dipende il modo di costruzione di altri misuratori: così il *termometro elettrico* (§. 1448) è fondato sullo sviluppo di calorico svolto dalle correnti, ed il *voltametro* (§ 1461) sulla decomposizione chimica prodotta dalle medesime. Il galvanometro però nelle diverse sue costruzioni è di preferenza usato dai fisici nella misura delle correnti per la comodità e speditezza nelle osservazioni, potendosi facilmente verificare i cangiamenti d'intensità e moltiplicare le sperienze.

Nella maggior parte dei casi sembra che l'azione chimica sia proporzionale alla quantità d'elettrico da cui è prodotta (§. 1471), ed è perciò che si è proposto un tal principio per graduare i galvanometri e renderli comparabili, tanto più che l'effetto ne è valutato in maniera uniforme coi volumi o coi pesi. Dalle sperienze sinora istituite risulta che *la forza magnetica della corrente è sensibilmente proporzionale all'azione chimica*. Il confronto è stato fatto colla bussola dei seni, colla quale si è trovato che le quantità di rame, disgiunto dal solfato mediante diverse correnti, sono con molta approssimazione proporzionali ai seni degli angoli di deviazione. All'appoggio di tale principio si potrebbe stabilire la tavola di corrispondenza fra i gradi del galvanometro e la forza della corrente. Alcuni hanno proposto di prendere per 1000 la corrente, la quale in un'ora è capace di precipitare 1 equivalente di rame o 32 grammi di questo metallo, oppure di decomporre l'equivalente d'acqua o 9 grammi di questo liquido (1). In parecchie sperienze col galvanometro occorre talvolta di valutare la misura della resistenza, che si oppone al passaggio della corrente, il che si eseguisce col metodo altrove insegnato (§. 1420) o con altro consimile (2).

1533. L'elettrico ordinario di tensione, tradotto pel filo a guisa della corrente, agisce pure sull'ago calamitato. Colladon è stato il primo a costruire il galvanometro per questa specie di corrente, al cui scopo copriva il filo a più doppi di seta e ne separava i diversi ordini dei 400 in 500 giri con taffetà gommato, onde meglio isolarli l'uno dall'altro (3). Mettendo un capo del filo dello strumento in comunicazione col conduttore e l'altro capo coi cuscinetti isolati della macchina a strepicciamento, si obbliga l'elettrico a circolare all'intorno dell'ago calamitato ed a farlo deviare dalla sua direzione. Per assicurarsi che la deviazione è un effetto magnetico e non dipende dall'attrazione e ripulsione ordinaria dell'elettricità di tensione, converrà alternare le comunicazioni del filo col conduttore e coi cuscinetti, dovendosi in tal caso cambiare eziandio la deviazione dell'ago calamitato (§. 1522). Per quest'esperienza si presta meglio la macchina idro-elettrica (§. 1229) e quella a due dischi (§. 1231); su di che possono consultarsi eziandio gli *Annali di fisica ecc.*, tom. XI, pag. 67.

(1) *Annali di fisica ecc. più volte citati*, t. XXVI, pag. 130.

(2) I medesimi *Annali*, XIX, pag. 455.

(3) *Annales de chimie et de physique*, 2ª serie, t. XXXIII, pag. 62, ed *Osservazioni ed esperienze ecc*, di Nobili, t. II, pag. 38.

1334. Il galvanometro così preparato serve più a dimostrare gli effetti dinamici dell'elettrico ordinario, che a misurare le scariche degli apparati di Leida e delle macchine a stropicciamento. Queste scariche sono troppo fugaci per dar tempo alla loro azione sull'ago. Perciò sospendeva un ago d'acciaio, coperto di seta e poco temprato, nell'interno del telaio del galvanometro perpendicolarmente ai giri del filo. All'atto che transita la scarica elettrica pel filo moltiplicatore, l'ago si magnetizza e cambia posizione da cui si deduce l'effetto della scarica.

Marianini ha molto migliorato tale disposizione e ne ha fatto uno strumento, chiamato da lui *re-elettrometro*, che serve alla misura delle scariche dell'elettrico ordinario, come si è altrove notato (§. 1340). Consiste il re-elettrometro in cilindretto di ferro dolce della grossezza di 2 millimetri e della lunghezza di 70, vestito di seta, a cui è avvolto il filo di rame inargentato pure coperto di seta. Questo filo è del diametro di $^1/_5$ di millimetro, si avvolge per 60 giri e sopravvanza a ciascuna estremità per circa 3 decimetri. Il cilindro, così preparato, si attacca con cera sul coperchio di vetro d'una scatoletta, dove è girevole sopra perno l'ago calamitato lungo 8 centimetri, e si dispone normalmente al medesimo coi loro centri sulla stessa verticale e distanti fra loro di 15 millimetri. Alle appendici della spirale sono aggiunte delle liste di piombo per facilitare le comunicazioni nelle scariche. L'autore aggiunge che il cilindretto può essere fatto eziandio d'acciaio a dolce tempra (1).

Scaricando la boccia di Leida pel filo spirale, il cilindretto rimane magnetizzato e fa deviare l'ago. Lo strumento può servire così a riconoscere la presenza dell'elettrico di tensione. Se, all'atto di farne uso, il cilindretto è già magnetizzato e tiene deviato l'ago, allora si dispongono le congiunzioni in modo che la corrente levi il magnetismo e faccia così deviare dal lato opposto più o meno l'ago.

Il re-elettrometro si presta a riconoscere i residui delle cariche delle boccie di Leida (§. 1316), avendone dati segni dopo la 20ª e 30ª e fino alla 42ª scarica. È molto utile lo strumento per accertarsi della presenza delle correnti indotte (§. 1309) e metterle fra loro a confronto, al quale ufficio è insufficiente il galvanometro. Per misurare le correnti fugaci col galvanometro comune ed anche per valutare le continue dalle prime escursioni dell'ago, il prof. Gherardi ha proposto di unire al coperchio dello strumento un'asticciuola d'ottone, la

(1) *Memorie di fisica sperimentale*, di Marianini. Modena 1838, pag. 24

quale si spinge sino a contatto del cerchio graduato per ritenere l'ago ad un dato angolo col meridiano magnetico. Al momento che circola la corrente, l'indice da segno di avvanzare quand'anche questa sia notabilmente inferiore alla forza necessaria per mantenerlo alla deviazione cui è ritenuto dall'appendice (1). Aggiungiamo infine che il reo-elettrometro è molto proprio per iscoprire la direzione della folgore (2), la quale altro non è che una poderosa scarica elettrica fra le nubi e la terra. Transitando per la spirale, l'elettrico magnetizza il cilindretto e lascia i segni della sua esistenza e della sua direzione secondo la disposizione dei poli presi dal cilindretto medesimo.

1535. Siccome le correnti elettriche, incanalate per conduttori fissi, agiscono sopra calamite sospese liberamente, come è l'ago, e fanno loro subire dei movimenti, così colle calamite si producono somiglianti moti nei conduttori medesimi resi liberi. Quest'illazione scaturisce dall'essere l'azione sempre eguale e contraria alla reazione (§ 218), e si conferma coll'esperienza. Avanti però d'occuparci della proposizione inversa, dobbiamo rammentare la legge altrove dimostrata dell'azione delle correnti sulle correnti (§. 1375), e considerarle in ogni caso; giacchè per essa acquista maggior probabilità la congettura che la forza magnetica dipenda da correnti in circolazione attorno agli atomi delle calamite.

Coll'apparecchio, rappresentato nella fig. 422, si dimostra l'attrazione e la ripulsione delle correnti, che percorrono conduttori tanto paralleli quanto ad angolo. Sopra una tavoletta orizzontale si erigono due colonnette di legno, per cui assi passano fili di rame, i quali, partendo dai pozzetti z, u, terminano alle due coppe metalliche x, y piene di mercurio. Nel liquido delle coppe sono immerse le due punte d'acciaio del doppio rettangolo mobile fatto con filo di rame, che può girare da ogni lato e mettersi parallelo e sotto diverse inclinazioni col lato rs del rettangolo moltiplicatore fisso sulla tavoletta. Vi sono inoltre i due pozzetti p, q pieni di mercurio, dove mettono rispettivamente capo le estremità del filo moltiplicatore del rettangolo fisso. S'introducano ora i fili dei due rettangoli, mobile e fisso, nel circuito della pila, immergendo il reoforo positivo nel mercurio di z e il negativo in quello di p. La corrente, salendo da quella coppa x, discende per a nel rettangolo mobile in b, e lo percorre per $bcdefghil$, donde passa nell'altra coppa y, e per la colonnetta corrispondente, nel

(1) *Nuovi Annali delle scienze naturali*. Bologna 1838, fascicolo 3°

(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XVIII, pag. 28 e 31

pozzetto u vadi all'altro q con cui comunica, entra poscia a circolare nel rettangolo moltiplicatore lungo il lato rs per versarsi in p nel reoforo negativo. Con questo modo di congiunzione la corrente per fg procede nello stesso verso come per rs. Si tolga ora la comunicazione fra i pozzetti u, q e si congiungano invece u, p immergendo il reoforo negativo nel mercurio di q: con questa disposizione è facile di riconoscere che la corrente nel rettangolo fisso sarà diretta per sr in contrario verso di sg lungo il lato del conduttore mobile.

Ora si osserva che, andando le correnti per lo stesso verso, vi ha attrazione fra il lato fg del conduttore mobile e quello rs del fisso e tendono a mettersi l'uno parallelamente all'altro, quand'anche avanti la circolazione della corrente il lato d'uno dei conduttori sia comunque inclinato col lato dell'altro. Che se invece le correnti si muovano in contrario verso, si trova che si repellono siano esse paralele o comunque inclinate.

Gli stessi effetti si dimostrano ezsandio colle correnti verticali adoprando la disposizione della fig. 423, composta del conduttore mobile M, dell'altro fisso moltiplicatore F e delle solite colonnette piantate sulla tavoletta. Sospendendo il rettangolo mobile colle sue punte immerse nelle coppe x, y, ed immergendo il reoforo positivo della pila nel mercurio del pozzetto z ed il negativo nel liquido dell'altro pozzetto p, dopo aver posti in comunicazione i due pozzetti u, q; è facile il riconoscere che la corrente sarà discendente pel lato fg del conduttore mobile e pure discendente pel lato rs di quello fisso. In questo caso le correnti, essendo dirette per lo stesso verso, si attraggono. Si congiungano invece i pozzetti u, p e s'immerga il reoforo negativo nel pozzetto q ritenendo il positivo in z, e si avranno le correnti dirette in contrario verso pei lati di fronte dei due conduttori mobile e fisso; in questa disposizione si osserva ripulsione. Si ottengono gli stessi risultamenti se una sola o tutte due le correnti percorrono dei conduttori sinuosi.

I due apparati descritti si possono riunire in un solo variando soltanto il conduttore mobile, e disponendo però quello fisso in modo da essere collocato col suo lato maggiore tanto orizzontale che verticale. Importa di corredare l'apparato d'un terzo conduttore mobile col lato verticale sinuoso, per mostrare, che con esso si ottiene l'egual effetto delle correnti rettilinee. Per mostrare poi che *l'attrazione eguaglia la ripulsione*, è bene d'avere un quarto conduttore mobile ab formato di filo di rame coperto di seta; oppure il conduttore mn, nel quale la corrente discende per la porzione di filo sinuoso

in elica ed ascende per la porzione rettilinea lungo l'asse dell'elica, nel quale l'attrazione risulta ancora eguale alla ripulsione (fig. 424). Infatti l'uno e l'altro, posto in presenza del conduttore fisso, non è nè attratto nè repulso.

Per esperimentare le attrazioni e le ripulsioni delle correnti orizzontali, può servire l'altro apparato della fig. 425, dove il conduttore mobile è più libero. Riescirà facile, da quanto si è detto, di collocare i reofori della pila per avere nei due conduttori la corrente diretta per lo stesso o per l'opposto verso. Noteremo solo che il globetto a, applicato alla piccola traversa di legno del rettangolo mobile, è girevole col suo gambo dentro la cavità d'un cilindro per servire di contrappeso allo stesso rettangolo e renderlo più libero nei movimenti.

1536. Le precedenti leggi si possono ridurre al canone generale che *le correnti tendono a riunirsi ed a formarne una sola*. L'eguaglianza d'azione che la corrente esercita pel conduttore sinuoso e pel rettilineo, dipende dal principio del parallelogrammo delle forze (§. 257); per cui alle due porzioni di corrente ac, bc, si potrà sostituire, in quanto alle loro azioni, la risultante ab (fig. 426).

Con tal principio ed all'appoggio dei risultati ottenuti dalle riferite sperienze, Ampère ha espresso le reciproche azioni delle correnti con formole, che costituiscono la teorica matematica dei fenomeni elettro-dinamici. Altri geometri applicarono poscia il calcolo a questo ramo d'elettricità, principalmente gli stranieri Savary e Pouillet e l'italiano Plana (1). Simili calcoli non entrano nelle cognizioni, che si suppongono in coloro, cui è destinato il nostro libro; ci riserbiamo per ciò con considerazioni di geometria elementare di ritornare sull'argomento, quando parleremo dei movimenti che si generano in virtù delle azioni elettro-dinamiche, mostrando ora la ragione fisica di quelle azioni.

I fenomeni elettro-dinamici generalmente si spiegano fondandosi sulle leggi delle attrazioni e ripulsioni, come fatti desunti dalle precedenti sperienze. Ma qual'è la ragione fisica di questi fatti? in qual

(1) *Sopra le formole matematiche atte a risolvere i problemi relativi all'azione emanata dalle correnti voltaiche circolari*, nel *Giornale arcadico*. Roma 1847 t. CX; e l'altra Memoria di Plana *Intorno alle formole atte a paragonare colla teoria le osservazioni fatte sull'azione che le correnti terrestri esercitano* ecc., nello stesso *Giornale arcadico* t. CXI. Riguardo agli altri autori si vegga la parte seconda del *Trattato d'elettricità dinamica*, di Démonferrand, tradotto dal professore Gherardi. Bologna 1824.

modo le correnti, transitando pei conduttori, li rendono capaci di vicendevolmente attrarsi e repellersi? Bisogna dunque dimostrare come quei fatti dipendano dall'elettrico. Col sistema d'un sol fluido riesce facile di riconoscere la ragione fisica delle attrazioni e ripulsioni dell'elettricità dinamica e di metterle d'accordo con quelle dell'elettricità statica. Si è mostrato che quest'ultime sono dovute ad una rarefazione o ad un addensamento dell'elettrico interposto in confronto del fluido esterno ai due corpi (§. 1241), ed egualmente succede di quelle elettro-dinamiche. Nobili ha appunto riavvicinato in tal modo le due classi di fenomeni (1). La corrente infatti, nel trascorrere pei fili conduttori, tende a rimuovere ed a strascinare con sè l'elettrico naturale all'aria ambiente ed a formarne con questo una sola. Nella fig. 427 le correnti sono dirette per lo stesso verso, e si rappresenta con linee lo strascino, che ciascuna di esse tende ad appropriarsi dall'aria ambiente, ed a produrre per tal modo una rarefazione nel fluido elettrico intermedio, facendo nascere l'attrazione. Al contrario, quando le correnti vanno in contrario verso, si generano per ciascuna corrente quegli strascichi, che si contrastano e s'ingorgano vicendevolmente producendo una condensazione d'elettrico nello spazio intermedio (fig. 428), che è causa della ripulsione apparente dei conduttori. Tale è in sunto la ragione fisica del fenomeno, la quale non si deve confondere colle leggi degli effetti che ne risultano

1537. Prima però d'occuparci dell'azione delle calamite e della terra sui conduttori mobili delle correnti, importa di mostrare come questi, col moltiplicare i loro giri, si riducono ad apparati, che nella forma e nell'azione si accostano ancor più alle calamite. Si prende il solito filo di rame coperto di seta, che all'estremità *a* è munito di punta per sospenderlo e, piegandolo a squadra, si avvolge in forma di elica cilindrica da *b* in *d*; donde si ritorce dirigendosi per l'asse fino in *e*; da questo punto torna ad avvolgersi in elica cilindrica coi giri diretti nello stesso verso della precedente, ed infine da *f* termina in *h* piegato pure a squadra con punta eguale (fig. 429) Il conduttore così formato si sospende alle colonnette del precedente apparato (fig. 422) immergendo le punte nel mercurio delle coppe rispettive. Si costruisca altr'elica eguale, le cui estremità *p*, *q* si prolunghino verso il basso (fig. 430), per metterla con queste appendici a far parte del circuito della pila Congiungendo una di queste appendici, per es. col reoforo negativo della pila, mentre quello positivo pesca nel poz-

(1) *Questioni sul magnetismo*, Modena 1824, pag. 59.

zetto dell'apparato della fig. 422, s'immerge l'altra appendice nel secondo pozzetto dell'apparato medesimo. In tal modo la corrente ascende per una colonnetta, circola per l'elica mobile sospesa, discende per l'altra colonnetta e dal corrispondente pozzetto passa nella seconda elica e pel reoforo rientra nella pila a ripigliare la circolazione.

La corrente, circolando nello stesso verso pei giri delle eliche descritte, moltiplica la sua azione, giacchè si può considerare nei diversi giri come altrettante correnti che si movano per lo stesso verso in circoli concentrici posti perpendicolarmente al medesimo asse. Presentando qualche estremità dell'elica tenuta colla mano (fig. 430) ad un'estremità dell'altra mobile (fig. 429), si osserva che, quando nei giri *le correnti vanno nello stesso verso, vi ha attrazione, ed al contrario succede la ripulsione se si muovono in contraria direzione*. Gli apparati di questa forma, dove la corrente si muove in tanti circoli concentrici, si chiamano *cilindri elettro-dinamici*, ed anche *solenoidi* dal vocabolo greco *solen* (tubo).

1538. Si costruiscono dei conduttori mobili di altra forma per moltiplicare l'azione della corrente con parecchi giri. Ad un sottile tubo di vetro si avvolge un filo di rame, il quale verso gli estremi del tubo è ripiegato in giri concentrici, il cui piano riesce parallelo all'asse del tubo (fig. 431). I capi del filo si prolungano verso il mezzo perpendicolarmente al tubo e si piegano a squadra con punte per sospenderli nel modo solito. I giri concentrici del filo si dispongono eziandio all'estremità del tubo in spirale piana perpendicolare al medesimo (fig. 432).

Si sospendano questi conduttori, per le punte, alle coppe delle colonnette (fig. 422), e per essi e pel solenoide a mano (fig. 430) si faccia circolare la corrente: si scorge che un polo di questo attrae o repelle un polo dei conduttori mobili (fig. 431 e 432) secondo che, pei giri in presenza, la corrente va per lo stesso o per l'opposto verso. Nella scuola riesce più comodo all'uso la spirale della fig. 433, che si presenta al solenoide sospeso od agli altri conduttori mobili per mostrare l'attrazione e la ripulsione.

De-la Rive ha sostituito, ai conduttori mobili precedenti di Ampère, un apparato più semplice, il quale porta con sè la coppia voltaica destinata allo sviluppo della corrente senza bisogno d'una disposizione apposita per farla circolare e per sospendere i conduttori. Consiste in un disco di sovero, nel cui centro sono infisse delle sottili laminette di rame e di zinco disposte a guisa d'una coppia a doppio

rame (§. 1354). Alle estremità del rame e dello zinco sporgenti al di sopra del disco sono attaccati i capi di un sottile filo di rame coperto di seta, che si ripiega più volte in circolo del diametro di 6 in 7 centimetri (fig. 434). Il disco di sovero è di tale grandezza che il piccolo apparecchio galleggia sull'acqua acidulata, dove pescano le lamine della coppia voltaica. La corrente circola in tal modo pei diversi giri del filo e moltiplica la sua azione, talchè, presentando all'anello l'estremità del solenoide (fig. 430), reso pure attivo dalla corrente d'altra coppia voltaica, l'anello è da questo attratto o repulso secondo che le correnti nei due apparati sono dirette nella stessa o in opposta direzione. Abbia l'anello il diametro abbastanza grande per entrarvi il solenoide della fig. 430: si osserva che, nel caso della corrente diretta nei giri dei due apparati per lo stesso verso, l'anello non solo si avvicina all'estremità del solenoide, ma s'introduce in esso giungendo sino alla metà, dove s'arresta. In tale posizione le forze attrattive sono eguali da ambedue le parti e si fanno equilibrio, avendo ciascuna metà del solenoide lo stesso numero di giri similmente disposti.

L'apparato descritto, chiamato *anello galleggiante* od *elettrico-dinamico*, è molto comodo per mostrare l'azione delle calamite e del magnetismo terrestre sulle correnti incanalate lungo i conduttori mobili. In simile maniera è stato costrutto da Nobili il *solenoide galleggiante*, il quale consiste in un cilindro di midollo a cui è avvolta la spirale, col disco di sovero e le lamine metalliche per metterlo galleggiante sull'acqua ed avere lo sviluppo della corrente (fig. 435).

1539. Mediante i conduttori mobili descritti riesce facile di esaminare il conflitto delle correnti colle calamite. Lo sperimentatore si collochi di contro all'estremità del solenoide ed osservi la direzione della corrente (fig. 429): se essa pei giri risulta ascendente a destra e discendente a sinistra, la detta estremità corrisponde al polo boreale; ed al polo australe, se è ascendente a sinistra e discendente a destra: e ciò conforme alle calamite temporarie e permanenti ottenute mediante la circolazione dell'elettrico (§. 1513). Stabilito questo, è facile il predire i movimenti del solenoide mobile quando si presenti ad un suo polo quello della calamita, osservandosi infatti che la calamita con un suo polo ne attrae quello eteronomo e respinge l'altro omonomo, e ciò in relazione a quanto si riscontra nei poli di due calamite (§. 1507).

La corrispondenza, fra le attrazioni e le ripulsioni elettro-dinamiche e quelle delle calamite, ha condotto i fisici a supporre che in queste

circolino delle correnti elettriche a somiglianza dei solenoidi. Lasciamo per ora la questione se la circolazione abbia luogo attorno alle molecole od all'intera massa delle calamite, ed osserviamo intanto che in tale ipotesi la risultante delle circolazioni molecolari o per l'intera massa deve avere nelle calamite la direzione delle frecce (fig. 436), dove B, A nell'una ed N, S nell'altra indicano rispettivamente i poli boreale o nord ed australe o sud. Affine di meglio far intendere nella scuola i fenomeni d'attrazione e ripulsione si costruiscano due prismi di cartone colle lettere iniziali dei poli segnati in testa e colle frecce delineate sulle loro facce. Si scorgerà tosto come il canone generale stabilito (§. 1537) si verifichi mettendo in presenza un polo della calamita con uno del solenoide. Nelle attrazioni e ripulsioni delle calamite fra loro si verifica lo stesso canone nell'ipotesi delle circolazioni elettriche per le medesime. Infatti, trovandosi a rincontro il polo boreale B dell'una con quello australe S dell'altra calamita, risulta che nell'attrazione in questo caso le correnti procedono per lo stesso verso. Ponendosi invece in presenza il polo boreale B dell'una con quello pure boreale N dell'altra si ha ripulsione, che è appunto prodotta dalle correnti dirette in contrario verso. Tutto ciò è conforme all'esperienza (§. 1507).

L'azione delle calamite sui conduttori mobili delle correnti si verifica egualmente, secondo i medesimi principii, adoprando quelli delle figg. 431 e 432, oppure il solenoide galleggiante della fig. 433 o l'anello elettro-dinamico della fig. 434. Anzi, presentando il polo d'una calamita rettilinea all'anello, questo si rivolge verso il medesimo da quel lato, dove la corrente pei suoi giri è diretta nello stesso verso delle correnti supposte nella calamita, ne è attratto e s'infila lungo la verga calamitata, arrestandosi verso la metà e diportandosi egualmente come col solenoide (§. 1538). Ritenendo la circolazione delle correnti nelle calamite, si comprenderanno altresì con somma facilità tutti i movimenti dell'ago magnetico sotto l'azione del filo congiuntivo della pila (§. 1522).

1540. La terra col suo magnetismo, agisce non solo sull'ago calamitato (§. 1506), ma eziandio sui conduttori mobili percorsi dalle correnti. Affine di riconoscere quest'azione, si levi il conduttore fisso F dall'apparato (fig. 423), come pure il conduttore mobile M, sospendendo in sua vece il conduttore della fig. 437. Si disponga inoltre l'apparato (fig. 423) coi lati maggiori della tavoletta nella direzione del meridiano magnetico, e si faccia nel modo solito circolare la corrente: il conduttore mobile (fig. 437) prende col suo piano la

posizione perpendicolare al meridiano medesimo, in modo che la corrente è discendente all'est ed ascendente all'ovest. Si può sostituire al precedente un conduttore mobile circolare ed altri consimili chiusi per riconoscere l'azione della terra sulle correnti.

Dall'azione della terra sui conduttori mobili si riconosce il bisogno di annullarla in quelli destinati a mostrare l'azione delle calamite sulle correnti o di queste su altre correnti. A tal fine è d'uopo disporre il filo in modo che si abbiano, dall'uno e dall'altro lato dell'asse di rotazione, delle parti euritmetiche, per le quali la corrente sia diretta nello stesso verso. È secondo tali viste che sono costrutti i conduttori mobili rappresentati nelle fig. 422 e 423.

1541. Si è reso mobile il conduttore sopra un asse orizzontale, affine di mostrare come la corrente circolante per esso provi pure l'azione del magnetismo terrestre e si riduca sempre in un piano determinato dai poli magnetici. Il rettangolo chiuso della fig. 438 è formato di filo di rame e mobile intorno all'asse orizzontale *mn*. I fili del rettangolo sono tenuti in sesto da un sottilissimo regolo di legno *ny* congiunto col disco *r* infisso sull'asse. L'apparecchio si dispone in modo che l'asse *mn* non solo risulti orizzontale, ma ben anche perpendicolare al meridiano magnetico. Il reoforo positivo della pila pesca nel mercurio del pozzetto *z*, per cui la corrente ascende pel filo della colonnetta corrispondente, invade il conduttore, transita pel lato *ab* e continuando il cammino *bcdef* giunge in *g*, dove prende la via dell'asse *mn* per dirigersi lungo il filo dell'altra colonnetta al reoforo negativo del piliere. All'atto che si fa circolare la corrente, la terra col suo magnetismo agisce sul conduttore e lo fa girare conducendolo in una posizione fissa, purchè le differenti parti del conduttore medesimo dall'uno e dall'altro lato dell'asse siano equilibrate in modo che la gravità non abbia veruna azione in tutte le posizioni che gli si fanno prendere. Costrutto in tal modo il conduttore e bene stabilite le comunicazioni pel passaggio della corrente, si osserva che, qualunque sia la posizione data al rettangolo, non si mette in quiete se non quando col suo piano risulta perpendicolare all'ago calamitato mobile pure liberamente sopra un asse orizzontale. L'ago così disposto s'inclina più o meno, secondo i diversi luoghi, verso il polo magnetico terrestre, come avremo occasione d'esaminare.

I conduttori mobili dunque di questo e del precedente paragrafo acquistano, per la corrente elettrica, la proprietà di provare l'azione del magnetismo terrestre. Un tal effetto ha indotto i fisici, in base alle leggi dell'azione delle correnti sulle correnti, a supporre in cir-

colazione sul nostro globo delle correnti elettriche dirette dall'est all'ovest e perpendicolari al meridiano magnetico. Queste correnti infatti avrebbero, in riguardo a quella circolante pel rettangolo (fig. 438), la stessa direzione lungo il lato *ef* ed opposta lungo l'altro *bc*; perciò sarebbe attratto il primo e repulso il secondo lato e verrebbe inclinare il rettangolo nel modo mostrato dall'esperienza. Lo stesso è del conduttore mobile sospeso verticalmente (fig. 437) il quale dovrà rivolgersi nella posizione indicata dalla figura per avere la corrente nel lato inferiore *ef* la stessa direzione di quelle supposte in circolazioni sulla terra. Per ritenere la maniera d'azione del globo terrestre sulle correnti elettriche, si osservi in generale che il piano del conduttore mobile si dispone in modo da mettersi perpendicolare alla retta, che congiunge i due poli dell'ago calamitato.

1542. Il magnetismo terrestre manifesta più distinta la sua azione sui conduttori ripiegati in elica o moltiplicatori. Il solenoide sospeso della fig. 429, come pure l'altro galleggiante della fig. 433, prendono la medesima direzione dell'ago calamitato (§. 1506). Lo stesso succede del conduttore della fig. 432, che termina in ispirali piatte, e del pari dell'anello elettro-dinamico (fig. 434). Affine di renderlo più mobile e più obbediente all'azione del magnetismo terrestre, l'anello elettro-dinamico si sospende ad un lungo filo di bozzolo tenendolo un poco demerso e diminuendo così la resistenza del liquido, su cui galleggia. L'anello, destinato a provare l'azione del globo, deve avere almeno il diametro di 8 in 10 centimetri. Tutti i precedenti apparecchi prendono tale posizione che la corrente circolante per essi va nello stesso verso di quelle supposte girare attorno alla terra dall'est all'ovest, per cui, alternando posto ai reofori, la corrente va in contrario verso, e gli apparecchi descrivono una semicirconferenza per disporsi nella voluta posizione, diportandosi come vere calamite.

1543. Nel conflitto delle correnti fra loro ed anche colle calamite e col magnetismo terrestre nascono dei movimenti continui, nei quali si scorge ancor più l'identità della causa dei due ordini di fenomeni. Questi movimenti si rilevano dalla teorica matematica stabilita dai geometri: ma, non potendo far uso dei loro calcoli (§. 1536), ci limitiamo ad alcune considerazioni geometriche dirette a facilitarne l'intelligenza.

Sia *ab* un filo conduttore, pel quale transita la corrente indefinita la cui direzione è indicata dalle frecce (fig. 439), e *cd* altro filo superiore per cui una seconda corrente s'approssima alla precedente. I due conduttori non si toccano, ma colle loro direzioni, senza intersecarsi

effettivamente, formano un angolo, il cui vertice corrisponde al punto *d*. Nell'angolo adiacente *bdc* le due correnti si discostano e quindi si repellono per essere incaminate in diversa direzione. Si riuniscano ora, colla retta *ac*, i centri d'azione delle correnti attraentisi e colla *bc* quelle delle repellentisi; si rappresenti inoltre con *ce* la forza attrattiva e con *cf* quella ripulsiva sul prolungamento della retta *bc*. Componendo le due forze (§. 1536), si ha la risultante *ch*, per la quale il conduttore *cd* tende ad essere trasportato in direzione contraria alla corrente indefinita *ab*. Che se la corrente finita *dg* si allontani dall'indefinita *ab*, si dimostra con un ragionamento consimile che il conduttore della *dg* tende a moversi lungo la direzione dell'indefinita *ab*. Sia invece fisso il conduttore *cd* della corrente finita, la quale si avvicina all'indefinita diretta pel conduttore mobile *ab*: in questo caso, pel principio dell'azione eguale e contraria alla reazione, il conduttore *ab* bisogna che si muova nella direzione della corrente transitante per esso. La corrente finita si allontani invece pel conduttore fisso *dg* da quella indefinita *ab*; allora il conduttore di questa prenderà il moto contrario alla direzione della corrente, cui dà passaggio. Si comprende altresì che due correnti indefinite *ab*, *cg* tendono per la loro azione scambievole a far girare intorno alla perpendicolare comune i rispettivi conduttori ed a ridurli paralleli sinchè siano dirette per lo stesso verso. Questa verità è conforme agli effetti ottenuti nelle sperienze altrove riferite.

Essendo tutto lo spazio *adc* ripieno di materia conduttrice, si comprende altresì che la corrente finita *cd*, che si avvicina alla *ab*, deve in quello spazio retrocedere rispetto all'indefinita *ab*. Al contrario la corrente finita *dg*, che si allontana da *ab*, deve camminare nello stesso verso della *ab*. La retrocessione della corrente *cd* rispetto alla *ab*, cui si avvicina, è conforme a quanto dimostra l'esperienza, che *le parti successive della stessa corrente rettilinea si repellono*. In un gran piatto di terraglia o di porcellana, diviso in due compartimenti eguali da diaframma di vetro, si versi abbastanza mercurio da coprirne tutto il fondo. Il conduttore di filo di rame *abcde* galleggia su quel liquido, coi lati *ab*, *cd* paralleli al diaframma (fig. 440), e l'arco verticale *bcd* passa al disopra del medesimo. Il filo è coperto di seta e soltanto le sue estremità sono a nudo in comunicazione col mercurio. I reofori d'una pila di parecchie coppie s'immergono nel mercurio dell'uno e dell'altro compartimento, e in tale disposizione la corrente entra per un ramo del conduttore, ne percorre l'arco per portarsi lungo l'altro ramo a ripigliare il suo cammino. Il conduttore,

al momento che è invaso dalla corrente, retrocede parallelamente a se stesso, sinchè è arrestato dall'orlo del piatto, e si viene ad appoggiarsi con l'arco. La ripulsione delle parti successive della medesima corrente è confermata da quest'altra sperienza. In due tazze piene di mercurio pescano le estremità di un filo metallico piegato in arco e sospeso colle braccia verticali ad una molletta in modo da renderne minima la forza diretta a sollevarlo. S'immergono i reofori della pila nel mercurio dei due vasi, il filo, per la ripulsione delle parti successive della corrente, salta in alto e poscia ricade pel suo peso a compiere di nuovo il circuito per essere respinto una seconda volta e così successivamente.

1544. Si abbia ora il conduttore *dd'* mobile sul suo mezzo *c*, per dove transita la corrente e lo percorre lungo le due braccia *cd*, *cd'* (fig. 441), siavi inoltre la corrente indefinita, che percorre il conduttore fisso *ab*. Essendo il braccio *cd* mobile attorno al punto *c*, le forze attrattive nell'angolo *adc* delle correnti *ad*, *cd*, che si avvicinano, e le ripulsive nell'altro *bdc* delle correnti *cd*, *db*, che si allontanano, tenderanno assieme a farlo muovere sul punto *c* verso l'angolo *adc*. D'altronde, nel braccio *cd'*, la corrente finita si allontana dall'indefinita *ab*, per cui le forze attrattive nell'angolo *bd'c* e le ripulsive in quello adiacente *add'* tenderanno assieme a far ruotare il braccio *cd'* su *c* verso l'angolo *bdd'*. Dunque l'intero conduttore *dd'* sarà sollecitato nelle due braccia da forze cospiranti a farlo girare intorno al punto *c*. Dal momento che il conduttore ha preso la posizione *eh*, esso continuerà a girare nello stesso verso in virtù delle forze ripulsive dovute alle correnti *ce*, *al* dirette in contrario verso e delle attrattive di *ch*, *db* incamminate per la stessa banda, cospiranti per ciò colle prime. Si dica lo stesso delle posizioni successive *fm*, *gn* sinchè ritorna alla primitiva *dd'* per ripigliare la rotazione. Se la corrente indefinita *ba* va in direzione contraria, la ruotazione del conduttore mobile viene del pari invertita.

Si osserva altresì che quando la corrente *ab* transita per un conduttore circolare concentrico colla periferia descritta da quello mobile *dd'*, allora la ruotazione è uniforme e regolare, perchè la corrente finita riesce sempre perpendicolare all'indefinita, e la distanza fra le due correnti rimane costante.

1545. I movimenti continui, che nascono dal conflitto delle correnti fra di loro, si ottengono coll'apparato della fig. 442. Sopra basamento di legno appoggiano i tre piedi pure di legno verniciato, che portano una capacità, la cui parete esterna ABÇ e l'interna *abc*

circolari le danno la forma di zona cilindrica fatta tutta di rame. Nel centro della zona sorge la colonnetta di legno *mn*, pel cui asse passa un filo di rame, che si congiunge superiormente alla coppa metallica ed inferiormente pesca nel mercurio versato nel pozzetto *m*. Nella coppa riempiuta pure di mercurio si colloca la punta di acciaio della corona di rame G, la quale, come l'indicano le linee punteggiate, sta in bilico e tocca coll'orlo inferiore l'acqua acidulata contenuta nella zona cilindrica. Tangente al mezzo della superficie della zona havvi il lato del telaio di legno, a cui è avvolto un filo di rame, che può fare anche parecchi giri per moltiplicare l'azione della corrente e che colle sue estremità pesca nel mercurio, di cui sono pieni i pozzetti *p*, *q*. Vi ha un quarto pozzetto *r* contenente pure del liquido metallico, che mediante una listerella di rame comunica colla capacità della zona. Disposto così l'apparato, s'immerge il reoforo positivo dell'elettromotore nel mercurio del pozzetto *m* ed il negativo nell'altro *p*: la corrente ascende per l'asse della colonnetta nella coppa *n*, dove si divide nelle due braccia della corona, invade l'acqua acidulata e passa nel pozzetto *r*, il quale, comunicando col mercurio di *q*, la conduce a girare pel filo del telaio ed a gettarsi nel reoforo negativo *p*. In questa circolazione dell'elettrico la corona ruota, su la punta d'acciaio, in causa del conflitto delle correnti (§. 1544).

Si levi il telaio moltiplicatore e la zona cilindrica, e si sostituisca a quest'ultima altra capacità eguale, intorno a cui è avvolta per parecchi giri una listerella di rame coperta di seta, che colle sue estremità termina nel mercurio dei pozzetti *p*, *q*, dove s'immergevano i capi del filo del telaio. In tal caso la zona è rappresentata nella fig. 445. Nella circolazione della corrente, la corona, posta in bilico sulla colonnetta *mn* (fig. 442), prende pure un moto di ruotazione secondo quanto si è dichiarato. Togliendo la comunicazione del pozzetto *r* con *q*, e congiungendolo invece con *p*, mentre in *q* si mette il reoforo negativo, la corrente, nella listerella della zona o nel filo del telaio, prende la direzione contraria e la ruotazione della corona succede pure in contrario verso. È facile eziandio disporre il circuito in modo che la corrente sia discendente pel filo *mn*, nel qual caso si ha pure un movimento contrario della corona, quando però non si cambi la direzione pel filo del rettangolo o per la listerella della zona. Vedremo quanto prima come il magnetismo terrestre possa ritardare od accelerare questi movimenti, secondo che succedono per l'uno o per l'altro verso. Affine di averli in ambedue le direzioni bisogna

per ciò moltiplicare l'azione della corrente coi giri del filo del telaio o della listerella avvolta alla zona.

1546. Si prenda la sottile fettuccia A di rame e si incurvi in cerchio senza congiungerne gli estremi, riempiendone l'intervallo con una lamminetta d'avorio od altra materia coibente (fig. 444). Ad un estremo si saldi il filo di rame, che si piega a squadra secondo il diametro e si unisce ad altro filo non conduttore attaccato alla fettuccia; mediante la punta si colloca in equilibrio sulla coppa dell'apparecchio della figura 442 coll'orlo inferiore a contatto dell'acqua acidulata contenuta nella zona. La corrente elettrica ascende pel filo della colonnetta e della coppa, passando per la fettuccia invade l'acqua acidulata per portarsi nel reoforo negativo a riprendere per la pila il primitivo cammino. In questa circolazione la fettuccia si mette a ruotare, e questo movimento non è dovuto all'azione della corrente esterna, non essendovi il telaio moltiplicatore, nè la listerella avvolta alla zona del vaso. Non dipende altresì dal magnetismo terrestre, succedendo la ruotazione sempre per lo stesso verso, sia che la corrente ascenda sia che discenda nella fettuccia. Il moto risulta però un poco meno celere, quando è opposto a quello che sarebbe prodotto dall'azione del globo.

Abbiamo in questo caso la corrente, che percorre la fettuccia circolare *abc* da *a* sino in *c*, ed inoltre delle correnti che si staccano da tutti i punti del circolo metallico e se ne allontanano gettandosi nel liquido. A norma del principio dichiarato (§. 1543), la fettuccia deve muoversi nello stesso verso della corrente, ossia nella direzione *abc*, come infatti è confermato dall'esperienza. Nel caso che la corrente dall'acqua acidulata entri nella fettuccia circolare per salire alla coppa, si hanno tante correnti che si avvicinano a quella diretta nel circolo metallico *cba*, per cui il conduttore, secondo il su citato principio, deve moversi in verso opposto a quello della corrente, cioè nella direzione *abc* come precedentemente. La ruotazione si fa all'inverso nel conduttore B, cioè nella direzione *c'b'a'*, perchè il braccio verticale del filo di sospensione è attaccato all'estremo *c*.

Sospendendo nell'egual maniera la spirale piana A coi giri a destra oppure la spirale B coi giri a sinistra (fig. 445), è facile riconoscere che si hanno movimenti somiglianti a quelli dichiarati. Le spire di questi conduttori sono ritenute nello stesso piano da sottili regole di legno o di osso di balena. Per questi e pei precedenti conduttori si richiedono pile piuttosto energiche e liquido abbastanza conduttore, affinchè l'azione delle correnti non sia contrariata dal magnetismo terrestre.

1547. A questa classe di fenomeni appartengono i moti continui prodotti nel mercurio per l'azione delle correnti sulle correnti, i quali differiscono da quelli altrove descritti (§ 1431). Con filo coperto di seta si forma una spirale piana di parecchi giri, vuota al di dentro, ed applicata ad una tavoletta di legno (fig. 446). Nella tavoletta s'intagliano due pozzetti circolari A, B tangenti all'elica internamente ed esternamente. Le due estremità del filo mettono capo nei pozzetti, il cui fondo verso il centro si rialza ed ha un piccolo foro, che discende ad una certa profondità per ricevere i reofori della pila. Riempiuti di mercurio i due pozzetti ed introdotti i reofori nei siti indicati, la corrente passa dall'uno all'altro pozzetto per la via di tutti i giri della spirale. Il mercurio si muove nelle due capacità: in una gira contro il corso della corrente in circolazione per la spira, e nell'altra il moto giratorio ne segue lo stesso corso. Ha luogo il moto contrario nel pozzetto, dove la corrente dal centro del medesimo si avvicina a quella della spirale, mentre succede il moto diretto per lo stesso verso nel pozzetto dove la corrente si allontana da quelle della spirale medesima. Questi movimenti sono conformi ai principii superiormente dichiarati (§. 1543).

1548. Movimenti continui si hanno pure nel conflitto delle correnti colle calamite, i quali si attengono alle medesime leggi. L'apparato più semplice, pel movimento d'un conduttore percorso dalla corrente elettrica, è stato immaginato da Faraday. Esso consiste nel tubo di vetro AB della lunghezza di circa 8 in 9 centimetri (fig. 447), chiuso da tappi, di cui l'inferiore è attraversato dalla piccola verga cilindrica calamitata *sn* della lunghezza di 6 centimetri, ed il superiore dal filo metallico *ef* piegato in forma d'anello all'estremo *e*. L'altro filo *eg* è sospeso all'anello mediante il gancio in cui termina, e si prolunga sino a contatto del mercurio contenuto nel tubo all'intorno della calamita. Tosto che i reofori della pila sono posti rispettivamente in comunicazione coll'estremo *f* del filo e col polo *s* della calamita, l'altro filo *eg* prende un celere movimento di rotazione all'intorno di questa, il quale non cessa sinchè la corrente è in circolazione.

Sia SN la calamita (fig. 448), nella quale si muovono le correnti magnetiche nella direzione indicata dalle frecce, secondo quanto si disse (§. 1539): se la corrente elettrica è ascendente nel filo *ge*, essa presenta il caso d'una terminata che s'allontana da quelle indefinite della calamita, per cui il movimento, secondo i principii dichiarati (§. 1543), succederà nel verso delle correnti magnetiche.

Che se la corrente elettrica discende pel filo *eg*, essa si avvicina a quelle della calamita, e il movimento deve succedere in verso opposto. L'esperienza infatti prova che alternando posto ai reofori della pila per invertire la direzione della corrente elettrica, il moto continuo del filo *eg* succede in verso opposto.

Si ottiene il giro continuo con altra disposizione: AB è una vaschetta circolare di legno inverniciato, nel cui centro s'innalza la colonnetta (fig. 449), che termina nella coppa di rame, da cui discende un filo metallico per l'asse sino al di sotto del basamento. Si colloca nella coppa piena di mercurio la punta del conduttore *amnb*, il quale colla fettuccia circolare, che ne congiunge le braccia verticali *am*, *bn*, viene a contatto del mercurio, di cui è piena la vaschetta AB. Il reoforo *p* della pila s'immerge lateralmente nel liquido della vaschetta, mentre quello negativo *q* si congiunge col filo che passa per l'asse della colonnetta. La corrente, in questo caso, invade il mercurio, ascende per le braccia verticali *am*, *bn*, perviene alla coppa o, donde discende pel filo della colonnetta e si getta al polo negativo della pila. Ponendo al di sotto della vaschetta un polo della calamita C, il conduttore *amnb* concepisce tosto un movimento di rotazione, il quale si estingue e succede nell'opposto verso cambiando il polo della calamita. L'invertimento della rotazione ha luogo se, lasciando il medesimo polo della calamita, si cambiano soltanto le posizioni dei reofori della pila, con cui la direzione della corrente per le braccia del conduttore diventa discendente invece di essere ascendente. Faraday formava la vaschetta di zinco, per avere con essa un elemento della coppia voltaica; a tal fine, invece del mercurio, si serviva d'acqua acidulata.

Nobili ha semplificato l'apparecchio facendo transitare la corrente per la calamita. Si compone d'un zoccolo di bosso (fig. 450) incavato al di sopra in forma di vaschetta con foro centrale, ove sta sepolta per metà una verga cilindrica calamitata. Lateralmente vi è altro foro in comunicazione col primo. La calamita porta alla sommità la coppa in cui si colloca la punta del conduttore mobile. L'apparecchio si mette in azione riempiendo il foro laterale di mercurio, che combacia colla calamita, e si versa dello stesso liquido nella coppa e nella vaschetta. In questa il mercurio giunge ad altezza tale che tocca l'estremità del ramo o dei rami verticali del conduttore. Infine si immerge un reoforo della pila nel mercurio del foro laterale e l'altro in quello della vaschetta. Al momento che è compiuto il circuito, il conduttore gira sulla punta. Alternando le comunicazioni dei reofori s'inverte il giro del conduttore. L'apparecchio è fornito

d'altro conduttore a due rami verticali, che si sostituisce al primo per avere egualmente la rotazione.

1549. Il giro continuo del conduttore attorno alla calamita nelle precedenti sperienze succede in virtù dell'azione di questa sulle correnti elettriche verticali. Le correnti però, che transitano per le braccia orizzontali, ne provano pure l'influenza, la quale in quei casi, per la distanza, riesce nulla in confronto di quella esercitata sulle correnti verticali, che giungono in grande prossimità della calamita. Ad esperimentare nel secondo caso il fenomeno serve la disposizione della figura 451, la quale differisce da una delle precedenti soltanto nella colonnetta, che è assai corta, per cui le braccia verticali si riducono a piccolissime appendici comunicanti col liquido. Il braccio in bilico sulla punta è reso più stabile da piccoli contrappesi, che ne abbassano il centro di gravità.

Disposto l'apparecchio a far parte del circuito della pila, si presenti uno dei poli della calamita al di sotto, e tosto il conduttore incomincerà a ruotare sul punto di sospensione; presentato lo stesso polo al di sopra, la rotazione succede in contrario verso. Cambiando il polo i movimenti s'invertono, come vengono invertiti dirigendo la corrente pel conduttore in opposto verso. Ad ogni cambiamento di posizione del medesimo polo, oppure operando ora coll'uno ed ora coll'altro dallo stesso lato, o infine invertendo la direzione della corrente, si ha in ogni caso invertimento nella ruotazione, che succede secondo il principio dichiarato (§ 1544). I conduttori orizzontali, percorsi dall'elettrico, provano l'azione del magnetismo terrestre (§ 1540) in virtù delle correnti che circolano nella terra dall'est all'ovest (§ 1541), ed è per ciò che la ruotazione succede nelle differenti disposizioni più celere in un verso che nell'opposto. Quando le due azioni sono contrarie si può, variando la distanza, fare che predomini ora la forza della calamita ed ora quella del magnetismo terrestre, e così variare il movimento.

1550. Il giro continuo del conduttore della corrente, mediante l'azione della calamita, si ottiene ezandio col *molinello elettrodinamico* immaginato da Barlow. Consiste l'apparato nel basamento quadrangolare AB di legno (fig. 452), nel quale sono scavati due pozzetti x, y. Dal centro di x s'innalza la colonnetta verticale d'ottone ab, che porta la verga orizzontale bd pure d'ottone, ripiegata a squadra e divisa in due rami, cui si appoggia l'asse della rotella d'ottone R. Al l'apparato è unita la calamita C a ferro di cavallo, ritenuta orizzontale da uno zoccolo di legno.

Si versi del mercurio nel pozzetto x e nell'altro y in tale quantità che tocchi appena la periferia della rotella, si disponga inoltre la calamita in modo che la rotella stessa sia libera per girare fra le sue braccia, le quali colle loro estremità corrispondano a punti posti un poco al di là del sito, dove la periferia tocca il mercurio. Si immerga ora un reoforo della pila nel mercurio di x e l'altro reoforo in quello di y: l'elettrico circola per la colonnetta e per la rotella, la quale si mette a girare per l'uno o per l'altro verso secondo la direzione della corrente. Supponiamo che questa cammini nella direzione indicata dalle freccie e che la calamita abbia i poli rivolti in maniera che le correnti, supposte in circolazione per la sua massa, siano pure dirette secondo le freccie segnate sui suoi lati: quest'ultime correnti si avvicinano da ambidue i poli a quella discendente pei raggi della rotella nel mercurio, e poscia se ne discostano, per cui ha luogo la ruotazione nel verso superiormente dichiarato (§ 1544). Cambiando direzione alla corrente elettrica, la ruotazione succede in contrario verso.

1551. Nelle dimostrazioni per la scuola è molto proprio l'apparato della fig. 483, col quale si ottiene il giro continuo in virtù dell'azione della calamita sulle correnti verticali ed orizzontali. Sul basamento AB s'innalza il [illegible] calamitato ab, il quale è ripiegato a ferro di cavallo e porta due vaschette di legno x, y, che si ritengono a diverse altezze mediante una vite di pressione. A ciascuna sommità delle due braccia della calamita è innestato un pezzo d'agata o d'altra pietra dura, su cui riposa la punta d'un cilindro di sottile lamina di rame od una spirale cilindrica. I cilindri sono appesi a fili metallici che si uniscono superiormente per esservi saldata la punta su cui stanno in bilico, e terminano alla loro periferia inferiore in lembi [illegible] risultanti da intagli semicircolari. Al di sopra delle punte dei cilindri e delle spirali è saldata una piccola coppa di metallo, in cui si versa del mercurio per ricevere le due estremità d'un arco metallico portato dal sostegno laterale mno piantato sul basamento. Vi sono inoltre le piccole coppe d'avorio p, q, sostenute da filo di rame, che s'interna in esse ed è conficcato nelle vaschette x, y, come pure l'altra piccola coppa o portata da un filo in comunicazione coll'arco.

Collocando i due cilindri colle loro punte sulle sommità delle braccia della calamita e versando del mercurio in tutte le capacità, s'immerge il reoforo positivo della pila nel liquido di p ed il negativo in quello di q. La corrente elettrica invade il mercurio di x, ascende

pel cilindro corrispondente, giunge alla sommità, percorre l'arco metallico e discende per l'altro cilindro nel mercurio di y per gettarsi in q sul reoforo negativo In questa disposizione si hanno, nel primo cilindro, delle correnti elettriche ascendenti perpendicolari a quelle del braccio della calamita, e nel secondo cilindro delle correnti discendenti pure perpendicolari a quelle dell'altro braccio. Si ha quindi pel loro conflitto un movimento di rotazione nei cilindri conforme ai principii succitati. Sostituendo ai cilindri le due spirali, si cambia l'esperimento di Marsch in quello di Wattkins, dove le correnti elettriche riescono parallele a quelle della calamita, avendosi pure in questo caso il movimento di rotazione. Immergendo uno dei reofori nella coppa o, lasciando l'altro nella p, o nella q, si mette in giro un sol cilindro od una sola spirale.

1552. Il moto continuo del mercurio si ottiene anche per l'azione della calamita sulle correnti elettriche, nella stessa guisa del conflitto di queste fra loro (§. 1547) L'apparato più semplice per tali sperimenti consiste nella calamita cilindrica ab (fig. 454) piantata verticalmente sopra un zoccolo di legno, e munita di due coppe anulari l'una x posta verso l'equatore e l'altra y alla sommità. Si versi del mercurio nelle due coppe, e s'immerga uno dei reofori nel centro del mercurio della coppa superiore e l'altro nell'orlo del liquido contenuto nell'inferiore. Compiuto in tal guisa il circuito col mercurio delle due coppe, si osserva che quello contenuto nella coppa polare gira per un verso e l'altro della coppa inferiore in verso contrario.

Se la calamita è superiormente incavata per contenere il mercurio, avviene lo stesso fenomeno. Nobili ha ripetuto altresì questi movimenti versando il mercurio nella *corona d'aghi magnetici* della fig. 455, dove il liquido gira come colla calamita. Questo confronto somministra un nuovo argomento in favore dell'opinione, in cui s'ammette la circolazione di correnti intorno alle molecole e non intorno alla massa delle calamite come nei solenoidi Il fisico italiano ha altresì sostituito alla calamita cilindrica una spirale elettrodinamica o solenoide, alla cui sommità era posta la coppa contenente il mercurio, collocandovi a canto una seconda coppa in cui si versava pure del mercurio. I capi della spirale vengono a combaciamento col liquido della coppa, e s'istituisce l'esperimento come colle spirali piane (§. 1547), osservandosi egualmente i giri del mercurio.

1553. Il movimento del mercurio pel conflitto delle correnti elettriche colle calamite fu osservato da Davy, il quale istituiva l'espe-

rienza con una disposizione un poco differente. Immergeva i reofori della pila nel mercurio contenuto nella vaschetta AB (fig. 456), e presentava a quel liquido, nell'intervallo compreso dai fili polari, il polo d'una vigorosa calamita. Il mercurio gira attorno ai fili come nella precedente sperienza in causa del conflitto delle correnti voltaiche con quelle circolanti nella calamita. Mettendo l'altro polo magnetico in presenza del mercurio, i movimenti succedono in verso contrario.

L'esperienza s'istituisce esandio col mercurio contenuto nella vaschetta AB, dal fondo della quale sorgono due grossi fili verticali di rame, spalmati di cera ed in comunicazione con quel liquido soltanto pei loro punti estremi lasciati a nudo (fig. 457). I due fili sono alla distanza di alcuni centimetri l'uno dall'altro, e terminano colle loro estremità opposte nelle due mezze coppe laterali alla vaschetta, dove si versa pure del mercurio. Immergendo i reofori d'un'energica pila nel mercurio delle coppe, il circuito è compiuto e il mercurio gira al disopra delle punte dei fili presentando alla superficie del liquido un polo della calamita. Avanti la presentazione della calamita, il mercurio è fortemente agitato, e la sua superficie al di sopra di ciascun filo s'innalza in forma di piccolo cono, donde partono delle lievi ondulazioni per ogni direzione: la parte centrale, dove si incontrano quelle onde fra i due fili, sembra essere il solo punto senza agitazione. Quest'effetto ha analogia coll'altro da cui si è dedotto che le parti successive della medesima corrente si respingono (§. 1543). Osservai inoltre che, quando si avvicina gradatamente al di sopra d'uno dei coni il polo d'una vigorosa calamita, il suo vertice s'abbassa, la base si allarga, le ondulazioni s'indeboliscono, e la superficie del mercurio diventa piana. A minore distanza il liquido prende un lento moto verticoso, che si fa più celere con ulteriore ravvicinamento e produce una depressione sotto forma d'imbuto, il cui vertice discende sino quasi all'estremità del filo, intorno a cui avvengono quei moti.

1554. Si producono dei moti rotatorii consimili nel conflitto delle correnti termoelettriche colle calamite. Si formi il rettangolo *abcd* col filo d'argento *abc* e il filo di platino *ad* avente nel mezzo un anello per metterlo in bilico sopra un sostegno colla punta applicata al lato opposto e lasciar libero il moto di ruotazione (fig. 458). Essendo il rettangolo in bilico, si collochi vicino quanto è possibile al lato *ab* il polo boreale d'una calamita, riscaldando colla lampada a spirito il punto *a* dove s'uniscono'· pel riscaldamento della congiunzione si

risveglia nei fili la corrente termoelettrica e il rettangolo gira sino a che la commettitura perviene sopra la lampada, allora è respinto in dietro e prende la posizione normale alla primitiva. Questa ruotazione del rettangolo è somigliante a quella dell'ago magnetico e dipende dagli stessi principii (§ 1522), colla sola differenza che in questo caso è mobile il conduttore percorso dalla corrente termoelettrica essendo fissa la calamita, mentre nell'altro è mobile l'ago magnetico e fisso il conduttore pel quale transita la corrente voltaica. Per avere il movimento di rotazione continua, si approssimi al lato opposto del rettangolo il polo australe d'altra calamita, e si riscaldi egualmente la congiunzione a. Il moto è invertito se si riscaldi l'altra d. La ruotazione è tanto più celere quanto più le calamite sono vigorose, e succede ancor meglio coi due rettangoli termoelettrici eguali congiunti ad angolo retto, come si scorge in A.

1555. Nel conflitto delle correnti elettriche colle calamite, si tengono eziandio fissi i conduttori delle prime per imprimere il moto rotatorio alle seconde. L'apparato più semplice per l'esperimento si compone del basamento di legno AB, sul quale è disposta la vaschetta ab (fig. 459), nel cui centro è impiantato un dado dove s'innesta un pezzo di pietra dura, su cui appoggia la punta della verga calamitata pq. Il disco CD è sostenuto da tre colonnette parallelamente ad AB traforato nel centro per dar libero passaggio alla calamita; la quale coll'altra estremità pure acuminata è ritenuta nella cavità della vite V mobile nel foro dell'arco sostenuto dal disco medesimo, che porta eziandio la vaschetta anulare cd di legno. Le due vaschette ab, cd sono rispettivamente in comunicazione colle coppe laterali d'avorio m, n.

Si versi nelle due vaschette del mercurio, il quale passa a riempiere pei canaletti le coppe rispettive, e s'immergano i reofori della pila nel liquido delle coppe medesime. Il liquido invade il mercurio d'una di queste coppe ed irradia pel liquido della vaschetta per raggiungere vicino all'asse di rotazione il gancio connesso colla calamita, di cui percorre la lunghezza sino ad altro gancio eguale per passare nel mercurio della vaschetta superiore ed a gettarsi per la coppa relativa sul reoforo negativo. Si ha qui lo stesso caso del giro continuo precedente (§ 1548), colla sola differenza che, invece di moversi il conduttore della corrente, si muove la calamita intorno al suo asse. —

Ampère si serviva d'un cilindro magnetizzato, fornito di due coppe anulari, come quello della fig. 454, e di piccolo gancio alla

sua sommità per appenderlo ad un sottile filo di seta a guisa del pendolo. Versando del mercurio nelle coppe e tenendovi immersi i reofori della pila, la calamita gira intorno al proprio asse sino a tanto che lo permette il torcimento del filo.

1556. Faraday otteneva la rotazione ponendo a galleggiare la calamita cilindrica nel mercurio contenuto in un largo e profondo vaso, dove era tenuta verticale mediante un pezzo di platino che le serviva di zavorra. Immergeva nella parte centrale del liquido un filo di rame verticale portato da apposito sostegno in comunicazione con uno dei poli della pila, il reoforo dell'altro polo pescava pure nel liquido vicino alla periferia del vaso. Compiuto in tal guisa il circuito, la calamita gira attorno al filo verticale corrispondente al centro del mercurio. Lo strato superficiale del mercurio è rappresentato nella fig. 460, dove c è la sezione del filo verticale per dove transita la corrente, b quella della calamita e le frecce indicano il movimento di rotazione di questa intorno al filo nel caso che il polo boreale sia rivolto in alto e che la corrente sia ascendente pel filo.

Il mercurio oppone grande resistenza al moto ed è quindi necessaria una pila molto energica ed una calamita vigorosa di poco volume per ottenere una rotazione di certa rapidità. Appunto per tali cause si presta meglio la disposizione descritta nel precedente paragrafo. Faraday, per facilitare il <u>movimento</u>, praticava all'estremo superiore della calamita una piccola cavità che riempiva di mercurio, dove immergeva la punta del filo verticale senza toccarla. La corrente allora ascende nel filo passando per la stessa calamita, la quale gira come precedentemente. La rotazione si fa in contrario verso invertendo la posizione dei reofori e cambiando per conseguenza la direzione della corrente elettrica. Nobili otteneva il fenomeno col galleggiante composto di due aghi d'acciajo calamitati per lo stesso verso, ed infissi sopra un disco di platino combinato in modo da tenerli immersi nel mercurio per due terzi circa della loro lunghezza (fig. 461). S'immerge uno dei reofori nel mercurio della periferia del vaso e l'altro fra i due aghi del galleggiante. Compiuto in tal modo il circuito, gli aghi si mettono a girare d'intorno al filo, che cade fra loro.

La legge generale del conflitto fra le correnti e le calamite (§ 1522), si sperimenta per gli aghi verticali piantandoli in dischi di sovero e mettendoli a galleggiare nell'egual modo sull'acqua. Avvicinando all'ago il filo conduttore della corrente e supponendo il magnetismo prodotto secondo l'ipotesi dichiarata (§ 1539), si verifica

eziandio, nel caso degli aghi verticali, la legge delle attrazioni e ripulsioni (§. 1535).

1557. L'azione del magnetismo terrestre imprime pure un movimento rotatorio ai conduttori percorsi dalla corrente elettrica. A tal fine serve l'apparato stesso della fig 449 e l'altro della fig. 451. Introducendo nel circuito voltaico il conduttore come si è insegnato ai §§. 1548 e 1549, esso si mette a girare intorno al suo asse per l'azione della terra La corrente pei due rami orizzontali è diretta in contrario verso, per cui, supposti questi nel meridiano magnetico, è agevole il comprendere che le correnti del globo, dirette dall'est all'ovest, tenderanno a spingere uno di quei rami in una direzione e l'altro ramo in quella opposta, e così l'intero conduttore sarà sollecitato da due forze cospiranti per farlo girare intorno al suo asse, secondo ciò che si è dimostrato (§ 1544). La velocità di ruotazione aumenta a misura che il luogo dell'esperienza è più vicino al polo magnetico, ove riesce massima, mentre riuscirebbe nulla all'equatore magnetico.

Nell'apparato della fig. 457 il mercurio gira, quantunque meno celeremente, per l'azione del solo magnetismo terrestre senza quello della calamita (§. 1553). In tal caso il mercurio deve essere ben puro e tale che copra appena le punte dei due fili verticali.

1558. La ruotazione dell'ago magnetico si ha eziandio per l'influenza dell'elettrico ordinario. De Miranda di Napoli prese infatti una boccia di Leida e la collocò sopra un sostegno isolatore a tale altezza che l'uncino, in comunicazione coll'armatura interna, era a non molta distanza dal conduttore della macchina elettrica a stropicciamento. L'ago calamitato fu disposto sul suo perno in prossimità della linea media dell'armatura esterna della boccia. Al momento che si mette in azione la macchina, l'ago gira per un dato verso. Collocando invece la boccia coll'armatura esterna di contro al conduttore della macchina e l'ago colla sua punta in vicinanza del bottone, la ruotazione succede in contrario verso. Il professore Vismara ha trovato che si ha egualmente la ruotazione mettendo l'ago in bilico sopra una punta annessa al conduttore della macchina elettrica (1).

(1) Pei fenomeni dei due fisici italiani, si veggano gli *Annali di fisica* ecc più volte citati, t xx, pag 285 e 287. Dello stesso genere è pure la rotazione dell'ago magnetico osservata da Bagona Seina, t. xix, pag 20, come pure l'altra da Ronde, t. xxvii, pag 156.

I giri osservati dai due fisici italiani sono prodotti da correnti d'elettrico ordinario transitanti per la lunghezza dell'ago magnetico, le quali provano l'azione delle correnti proprie al ago medesimo come nelle precedenti ruotazioni. Wartmann ha ottenuto la ruotazione dell'acqua dal conflitto fra il magnetismo temporario del ferro, a contatto di calamite, e le correnti elettriche generate dall'azione del liquido sul ferro medesimo (1).

1559. Una calamita voltaica a poli cangianti si muove con giro continuo sotto l'azione del magnetismo ordinario o terrestre. Sopra il piede di legno P è disposta la vaschetta *ab* (fig. 462), divisa in due compartimenti eguali dal diaframma di vetro *mn*, dove mettono capo le estremità dei morsetti *p*, *q*. Nel centro della vaschetta s'innalza un zoccoletto che porta la punta, su cui sta in bilico la calamita voltaica EF, le estremità della cui elica si ripiegano lungo il cilindro di ferro e si abbassano verticalmente in *e*, *f* per combaciare col mercurio contenuto nella vaschetta *ab*. Congiungendo i reofori della pila coi morsetti *p*, *q*, la corrente invade, per *e*, il mercurio del compartimento di *p*, entra per un'estremità nell'elica, la percorre in tutti i suoi giri per passare nel mercurio dell'altro compartimento a gettarsi lungo il morsetto *q* sul polo negativo. In tale circolazione il cilindro di ferro EF si calamita (§. 1512) e prova l'azione dei poli magnetici della terra. Supponiamo che l'estremità E diventi il polo boreale: essa sarà attratta verso il settentrione della terra, mentre l'altra F lo sarà verso il mezzodì (§. 1506). All'atto però che EF nel suo movimento prende la direzione del meridiano magnetico, l'estremità *e* dell'elica passa a contatto del mercurio nell'altro compartimento, mentre la *f* viene a rimpiazzarla. S'inverte in tal guisa la direzione della corrente nell'elica, e l'estremità E del cilindro di ferro si cambia in polo australe e la *f* in boreale. L'attrazione quindi si cambierà in ripulsione, ed il cilindro continuerà a ruotare, sinchè, dopo un'altra semi rivoluzione, s'invertono di nuovo i poli e la ruotazione procederà nel suo corso in tutto il tempo che dura la circolazione della corrente. Avviene lo stesso se, di contro ai poli della calamita cangiante, si dispongono quelli contrari di due calamite permanenti. Si ha egualmente la ruotazione sostituendo alla calamita temporaria il semplice solenoide. È appunto secondo il precedente principio che si costruiscono i motori elettromagnetici (§. 1515).

1560. Col conflitto di correnti elettriche in due conduttori, l'uno

(1) Si veggano gli stessi *Annali*, t. XXVII, 54.

mobile e l'altro fisso, disposti in maniera che nel primo si cambi la direzione ad ogni mezza rivoluzione, si dà egualmente luogo a ripulsioni ed attrazioni successive per avere il giro continuo. Il conduttore AB è formato di parecchi giri di filo di rame coperto di seta (fig. 403), una cui estremità è in congiunzione col morsetto *p* isolato, mentre l'altra s'interna nella capacità attigua della vaschetta divisa in due compartimenti, come nell'apparato della rotazione precedente. Sulla punta centrale è posto in bilico il conduttore mobile *ab* formato egualmente di parecchi giri di fili di rame, le cui estremità si abbassano verticalmente per combaciare col mercurio contenuto nei compartimenti della vaschetta. Congiungendo, per es., il morsetto *p* col reoforo positivo, della pila e l'altro *q* con quello negativo, la corrente percorre i giri del conduttore fisso, discende al mercurio del compartimento di *p*, circola pel conduttore mobile e passa nel mercurio dell'altro compartimento donde, pel morsetto *q* con cui comunica, si dirige al polo negativo. Il conduttore mobile *ab* è spinto a disporsi coi suoi giri parallelamente a quelli di AB, in guisa che, nei fili superiori d'ambidue, la corrente cammini per lo stesso verso come nei loro fili inferiori (§ 1555). Ma al momento che il conduttore *ab* raggiunge una tale posizione d'equilibrio, s'inverte la direzione della corrente col cambiare le sue estremità il contatto del mercurio nei compartimenti, e si rinnovano le forze per le quali continua la rotazione.

1561. I corpi adunque in generale e gli aghi calamitati in particolare concepiscono dei movimenti in virtù delle correnti elettriche, come li concepiscono per l'azione dell'elettrico delle macchine a strofinamento (§§ 1224 e 1241). Le correnti elettriche sono altresì capaci di dare al ferro dolce la facoltà magnetica, che scomparisce all'istante medesimo in cui cessa la circolazione di quel fluido (§ 1512). Si rammenti inoltre l'immensa velocità con cui l'elettrico si propaga lungo i buoni conduttori, ed avremo così quanto basta per intendere il modo di costruzione dei *telegrafi elettrici*. L'idea di approfittare della grandissima velocità dell'elettrico per le comunicazioni a distanza, si presenta facilmente anche a chi non coltiva questa sorta di studi, e molti infatti l'hanno suggerita. Ma un tale pensiero fu posto soltanto alla prova nel volgere dell'ultimo decennio del trascorso secolo, e allo scopo piuttosto di istituire degli sperimenti scientifici, che di stabilire dei mezzi di corrispondenza ad uso dei bisogni sociali. L'invenzione della pila di Volta, avvenuta all'incominciare del corrente secolo, diede un nuovo incentivo a tale applica-

zione, che attrasse ancor più l'attenzione dei cultori della fisica al nascere nel 1820 l'elettromagnetismo colla scoperta d'Oersted. Furono perciò sperimentati dei telegrafi in ogni epoca coll'elettrico ordinario sui pendoli degli elettroscopii, colla corrente voltaica come principio decomponente dell'acqua, come agente atto a fare scoppiare il miscuglio d'idrogeno e d'ossigeno, e come motore dell'ago calamitato, senza però averne ritratto vantaggio per gli usi della società in riguardo alle spese necessarie alla loro costruzione, al loro esercizio, alla loro manutenzione ed alla loro sorveglianza. I telegrafi elettrici contano la vera epoca della loro attivazione dal momento che incominciarono ad estendersi per lunghe linee le strade ferrate in Inghilterra ed in America, offrendo essi, a questi celeri mezzi di trasporto delle cose e delle persone, altri mezzi per comunicare a grandi distanze con molta maggior celerità i pensieri e la parola. D'altronde le nuove vie nel loro esercizio traggono dai telegrafi dei vantaggi per gli avvisi da trasmettersi con somma rapidità dall'una ad altra stazione, e prestano ai medesimi in ricambio il modo di economizzare non poco nelle spese di sorveglianza e quindi della loro manutenzione e costruzione (1).

Wheatstone e Cooke in Inghilterra, Morse e Bain negli Stati Uniti d'America furono i primi che diedero un'utilità pratica alla telegrafia elettrica. Del resto molti si occuparono di questi utili ordigni, e Wheatstone ha enumerato 62 pretendenti a tale invenzione allorquando pubblicava la descrizione del suo telegrafo. Ai quali si devono aggiungere i molti stranieri ed Italiani che vennero dappoi con nuove combinazioni e modificazioni più o meno utili, di cui si fa menzione nei nostri *Annali di fisica* ecc. su citati t. III pag. 286, t. X pag. 318, t. XV pag. 130 e 226, t. XVI pag. 49, t. XVII pag. 212, t. XVIII pag. 326, t. XXIV pag. 223, t. XXV pag. 86, 317, e 328, t. XXVII pag. 115, t. XXVIII pag. 322, e la seconda serie dei medesimi t. I pag. 32, pag. 78 e pag. 306, t. III pag. 93, e t. IV pag. 328. Noi daremo un'idea del modo con cui si costruiscono i telegrafi elettrici, procurando di far comprendere come si comunicano parecchi segni con somma prestezza per trasmettere a grandi distanze una notizia od un avviso e per attivare qualunque corrispondenza.

1562. È agevole comprendere, da quanto si disse, che il telegrafo elettrico consta di tre parti distinte: 1° la pila per la produzione della

(1) Per la storia dei telegrafi elettrici si consultino gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. I, pag. 51, e t. XIV, pag. 271.

corrente elettrica; 2° il conduttore per la trasmissione della detta corrente, 3° gli apparati telegrafici, l'uno per comunicare e l'altro per ricevere la corrispondenza.

L'elettrico si propaga con sorprendente velocità, la quale si è trovata da 100 a 200 mila chilometri per secondo, a norma della natura del metallo che gli serve di conduttore (§ 1339). Nella supposizione anche della minima velocità la periferia del nostro pianeta, che è di 40 mila chilometri, sarebbe ancor percossa in meno di mezzo minuto secondo. Per le distanze massime dunque, cui possano estendersi le nostre comunicazioni, queste risultano istantanee ed i segni sono trasmessi con tutta la rapidità desiderabile. In Italia si adopera la pila a terra (§. 1363) come nello Stato Sardo, o quella alla Bunsen come in Toscana ed in Lombardia. Nelle Due Sicilie non si sono ancora istituiti telegrafi elettrici, nè lungo le strade ferrate, nè in altre direzioni. In Inghilterra si fa uso della prima pila, in Francia della seconda, e presso le altre nazioni comunemente di quest'ultima ed anche di quella di Smee (§. 1361). La pila a terra, quantunque richieda maggior numero di coppie per la trasmissione della corrente a grandi distanze, riesce più economica, di maggior durata e più comoda dell'altra, ed inoltre non isviluppa come questa le esalazioni d'acido nitroso, il quale riesce molto nocivo alle persone incaricate a sorvegliarla ed a pulirla, e deteriora gli oggetti metallici, con cui viene a combaciamento. È stato disposto allo stesso uso l'elettromotore magnetico, di cui parliamo più avanti, come si apprende dagli *Annali di Fisica* ecc., 2ª serie, t. II, pag. 148.

Importa, in riguardo alla scelta della pila, che la corrente sia capace nel suo lungo cammino di produrre all'estremo opposto i movimenti pei segni telegrafici. L'intensità della corrente infatti diminuisce a misura che cresce la lunghezza del conduttore (§ 1416), e nelle grandi distanze può diventare così indebolita da essere incapace alla produzione dei voluti effetti. D'altronde sappiamo, dall'esperienza e dalla teorica (§ 1417), che la deviazione dell'ago calamitato, in virtù della corrente d'una sola coppia, non si accresce aumentando il numero delle coppie. Non è però così quando la corrente deve transitare per un lungo filo qual è quello dei telegrafi (§ 1335), di cui ora possiamo dare la dimostrazione diretta. Sia infatti φ l'intensità della corrente d'una sola coppia, ed L la lunghezza ridotta dalla resistenza della medesima, sia inoltre f l'intensità coll'interposizione del filo di lunghezza l, ed infine F

l'intensità della corrente di n coppie pure col conduttore l. Confrontando le intensità f, F nei due casi del filo interpolare con quella φ senza di esso, si ha (1417); $f:\varphi::L:L+l$, ed $F:\varphi::L:L+l/n$, donde si ricava $f=\frac{L}{L+l}\varphi$, $F=\frac{L}{L+l/n}\varphi$. Le due equazioni dimostrano che *la corrente, per un lungo filo, aumenta d'intensità col numero delle coppie;* mentre per un corto filo questo aumento non ha luogo e la deviazione dell'ago calamitato riesce la medesima tanto colla corrente d'una, quanto con quella di due, tre, quattro e più coppie. Applichiamo queste deduzioni a qualche caso pratico, e la lunghezza L della resistenza determinata nel modo insegnato (§. 1422) sia, per la pila a terra, di 20 metri di filo di rame della grossezza di 1 millimetro: nel caso che il filo interpolare del telegrafo abbia la lunghezza l di 100 chilometri, si avrà per le intensità della corrente d'una e di 50 coppie:

$$f=\frac{20}{20+100000}\varphi, \text{ ed } F=\frac{20}{20+2000}\varphi, \text{ ossia } f=\frac{1}{5001}\varphi \text{ ed } F=\frac{1}{601}\varphi.$$

Da cui si apprende che l'effetto sull'ago calamitato, coll'introduzione del filo di 100 chilometri della grossezza suddetta, diventa quasi la 5 millesima parte per una coppia, e soltanto la centesima per la pila di 50 coppie; e si ha quindi vantaggio, coll'accrescere il numero delle coppie, per raggiungere l'effetto magnetico a grandi distanze La centesima parte dell'intensità della corrente d'una coppia a terra è ancora capace di rimuovere l'ago calamitato e di magnetizzare un cilindro di ferro dolce. D'altronde l'effetto può essere accresciuto di molto col moltiplicare i giri del filo intorno all'ago o le spire attorno al ferro, e così avere a distanza una forza eguale a quella della corrente diretta. In tal maniera si determina quale sia la pila necessaria a trasmettere i segni lungo un conduttore dato d'un telegrafo. In generale si è trovato che, per un conduttore di filo di ferro della lunghezza di 100 chilometri e della grossezza di 4 millimetri, si richiede una pila a terra di 45 coppie, le cui piastre abbiano le dimensioni di 8 per 10 centimetri, od una pila alla Bunsen di 10 coppie con piastre di quasi eguale grandezza

1563 Il conduttore d'ordinario consiste in filo di rame del diametro di millim. 2 in 2,6 o di ferro di 3,5 in 4. Quantunque il primo metallo sia dotato di maggior facoltà conduttrice; tuttavolta si adopera eziandio il secondo pel minor costo e per la maggior tenacità, avendo nel resto abbastanza flessibilità quando il metallo è ben puro e ricotto La conducibilità è in ragione diretta della sezione trasver-

sale del filo, la quale riuscirebbe in quello di ferro quasi tripla dell'altro di rame delle grossezze notate; per cui il conduttore di ferro supplirebbe alla sua minore conducibilità colla maggiore grossezza (§ 1333). Sono necessarii due conduttori a compiere il circuito, l'uno per la trasmissione e l'altro pel ritorno della corrente al polo negativo. Al ritorno servono gli strati terrestri, i quali in virtù della loro estensione sono meglio conduttori dei fili metallici, come risulta da sperienze appositamente istituite (1). Si è trovato però conveniente, per assicurare il servigio delle comunicazioni telegrafiche, di stabilire il secondo conduttore, il quale forma colla terra un altro circuito compiuto da servirsene nel caso che, in causa di qualche impreveduto accidente, dovesse il primo venir interrotto (2).

A ciascuna stazione si scava un pozzo sgorgante d'abbondanti acque, dove s'immergono le lastre L, *l* di rame delle dimensioni di 6 per 7 decimetri (fig. 464). Al luogo, donde s'invia il dispaccio, la lastra L si unisce ad un polo della pila P, mentre l'altro polo comunica coll'apparecchio telegrafico M e per esso col filo conduttore *f*, il quale si prolunga sino alla stazione. In questa il conduttore è congiunto coll'apparecchio T, con cui si ricevono i segni trasmessi mediante la corrente elettrica, la quale passa nell'altra lastra *l*, donde per le parti liquide e solide della terra ritorna alla L per compiere la circolazione.

1364. È condizione essenziale d'isolare perfettamente il filo in tutto l'intervallo compreso dall'una all'altra stazione. Imperocchè, se lungo il cammino comunica anche imperfettamente col suolo, la corrente in quel punto si ripartisce in due e non ne giunge all'altra stazione che una derivata più o meno debole. Vi sono due sistemi differenti per distendere il filo dall'uno all'altro estremo della linea telegrafica, e per conseguenza due metodi d'isolamento. Al nascere della telegrafia elettrica, il filo era condotto dentro inviluppo isolatore sotto terra; poscia si trovò più conveniente d'elevarlo nell'aria sopra sostegni

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xv, pag. 113, 368 e 471; t. xix, pag. 49, e t. xxiii, pag. 180 e 280.

(2) La distanza da Torino a Genova è di 165 chilometri. Dalla prima città partono 6 fili conduttori, due dei quali mettono capo al R. castello di Moncalieri distante 8 chilometri, due servono alle comunicazioni del governo e dei privati mediante pagamento lungo tutta la linea e due per gli avvisi fra l'una e l'altra stazione. In Italia le linee telegrafiche degli Stati, Sardo, Lombardo-Veneto e Toscano, non sono riunite in una sola rete. Le linee più estese si riscontrano in Inghilterra ed agli Stati Uniti d'America (*Annali succitati*, t. xxix, pag. 280).

coibenti. Il primo sistema è molto più dispendioso del secondo, ed inoltre ha due gravissimi inconvenienti: 1° la difficoltà di riconoscere il punto dell'interruzione o dell'imperfetto isolamento in causa di qualche guasto, 2° la spesa per farvi la conveniente riparazione. Si scoperse da pochi anni la gotta-perca molto propria per la sua coibenza e flessibilità all'isolamento dei conduttori dei telegrafi, per cui si credette di ritornare ancora a seppellirli sotto terra, e infatti in Prussia si attivarono parecchie migliaia di chilometri di linee telegrafiche con questo sistema (1). La gotta-perca si altera e si consuma forse più presto del tempo che si credeva, ed è per ciò che in Prussia sembra che si voglia adottare il sistema di sospensione nell'aria. Si osservi altresì che i conduttori sotterranei sono soggetti ad un altro inconveniente non meno grave, la polarità elettrica (2), per la quale si genera una corrente contraria, che contrasta quella della pila ed agisce indipendente da essa (§. 1377). Il conduttore sotterraneo potrebbe convenire lungo le linee non fiancheggiate da strade ferrate, non avendosi bisogno, come nell'aereo, l'immediata sorveglianza. In qualche caso però conviene ricorrere a quel sistema, principalmente quando si tratta di attraversare luoghi abitati o bacini d'acqua, come lo stretto di mare fra Douvre e Calais, nelle cui acque è sepolto il conduttore, che congiunge i telegrafi del continente d'Europa con quelli dell'Inghilterra.

I conduttori aerei, non solo costano meno dei sotterranei, ma hanno eziandio i vantaggi dell'isolamento più perfetto, della riparazione più facile e di non essere soggetti alla polarità elettrica. Questo sistema avrà certamente la preminenza sull'altro, almeno lungo le strade ferrate (3). Non omettiamo però di notare che i conduttori aerei sono soggetti all'attuazione delle nubi elettrizzate e dello stato oragenoso dell'atmosfera, a cui si rimedia con parecchie punte metalliche distanti 1 in 2 millimetri dal filo e in comunicazione col suolo, per le quali le piene elettriche si scaricano (4). Si deve altresì tener conto dell'influenza elettrica, che si manifesta a ciel sereno e che sembra dovuta alle correnti terrestri (5). I sostegni dei conduttori aerei sono pali coperti di vernice

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. II, pag. 311.
(2) *Annali di fisica* ecc., 2ª serie, t. I, pag. 105, e 4ª serie, t. XXV, p. 317.
(3) I suddetti *Annali*, 4ª serie, t. XV, pag. 226.
(4) I medesimi *Annali*, 2ª serie, t. I, pag. 262 e t. III, pag. 203.
(5) Gli stessi *Annali*, 2ª serie, t. I, pag. 264.

piantati nel suolo alla distanza di 50 in 60 metri l'uno dall'altro. Alcuni di questi pali sono *di semplice sospensione* ed altri *di tensione*, e degli ultimi basta uno ogni 350 in 400 metri.

Il congegno di tensione è composto della verga di ferro *vv*, che attraversa il palo per un foro rivestito d'anelli di maiolica, e ne rimane in tal modo isolata (fig. 465). La verga porta alle estremità due rocchetti, ai quali si avvolge il filo *f*. I rocchetti sono forniti di ruota a sega con nottolino, di cui una vedesi in *r*, per lasciar libero il moto in un verso ed impedirlo nell'opposto. Il filo, avvolto ai rocchetti, è piegato all'estremità sotto forma di anello per adattarsi ad una rotella di maiolica *a*, su cui s'appoggia la staffa di ferro, che lo congiunge da ambidue i lati al conduttore della linea egualmente terminato in anello con rotella di maiolica. Il congegno di tensione ha in tal guisa un doppio isolamento dal palo, e la corrente è obbligata a prendere la via del filo metallico *dd*, sostenuto dal pezzo di maiolica *s*, munito di cappelletto per impedire il deposito della pioggia e quindi la dispersione dell'elettrico. Sui pali di sospensione il conduttore si appoggia pure a pezzi di maiolica. I punti di appoggio isolatori sono difesi dalla pioggia e da altre materie conduttrici con convenienti coperti di legno. Sui pali ed alle pareti degli edifizi, come pure a traverso i muri delle stazioni per congiungersi colla pila e cogli apparecchi telegrafici, il filo conduttore non solo si appoggia sopra pezzi di maiolica, ma è inviluppato in tubi di gotta perca, affine di meglio isolarlo dal suolo. Senza l'uso della terra, come parte del circuito, non solo abbisognerebbero due fili invece d'uno, ma la corrente nell'andata e nel ritorno si troverebbe in gran vicinanza sullo stesso palo, per cui riuscirebbe facile una comunicazione, che produrrebbe una deviazione impedendo di giungere al termine della linea.

1365. Rimane per ultimo a parlare degli apparecchi telegrafici, i quali si riducono al *manipolatore* o all'apparecchio per disporre i segni da trasmettersi, ed all'*indicatore* con cui questi si manifestano all'osservatore dell'estremo opposto. Ciascuna stazione è altresì provveduta della campanella d'avviso o dell'*avvisatore*, con cui l'operatore attrae l'attenzione del suo corrispondente per ricevere il dispaccio. L'elettrico dal manipolatore transita pel filo all'indicatore, dove *imprime dei movimenti ad un ago magnetizzato od all'ancora d'una calamita temporanea, con cui si combinano i segni per la corrispondenza.* I *sistemi ad aghi* sono i più semplici, e si usano in Inghilterra, nel Belgio, nell'Italia settentrionale (R. Sardo e Lombardo-Veneto) ecc.

anz. in quell'isola, dopo aver posto alla prova diversi altri meccanismi ingegnosi, si ritrovò conveniente di ritornare all'uso degli aghi. In Francia, in Prussia e nell'Italia centrale (Toscana) si è creduto di adottare il *sistema a mostra* messo in azione dalla calamita. Nel primo paese però sembra che si voglia introdurre il sistema ad aghi (1), col quale si trasmettono da 80 a 95 segni per minuto, mentre con quello a mostra se ne possono comunicare soltanto da 45 a 60.

Il manipolatore e l'indicatore, nel sistema ad ago, costituiscono un solo apparecchio. L'ago è posto verticalmente in un telaio moltiplicatore eguale a quello del galvanometro (§. 1525), e porta all'estremità del suo asse un altr'ago esterno che sta di fronte sulla parete della cassetta dell'apparecchio e serve d'indice (fig. 466). Mediante un manubrio in comunicazione con un reotropo (§. 1418), la corrente elettrica è diretta ora in uno ora nell'opposto verso del circuito, con che si hanno delle inclinazioni corrispondenti negli aghi alle due stazioni ora a sinistra od ora a destra. Combinando assieme dei segni di destra e di sinistra dell'ago, si compongono le diverse lettere dell'alfabeto e le cifre numeriche, che sono segnate sulla parete dell'apparecchio. Dalla pratica si apprende facilmente l'intervallo necessario per distinguere l'uno dall'altro gruppo di segni consecutivi, che costituiscono una lettera od una cifra. I tratti, che si trovano sotto ciascuna lettera o cifra e sono inclinati a sinistra od a destra, indicano il numero dei segni a sinistra od a destra necessarii per esprimere ciascuna lettera o cifra. Le lineette normali, poste al piede di alcuni tratti, indicano altrettanti segni di sinistra o di destra secondo il lato cui sono applicati. Il primo segno da eseguirsi è sempre quello del tratto, e poscia l'altro dell'appendice normale. La croce + significa *fine di parola*, ed anche *non inteso*; la M significa eziandio *inteso*. Nei numeri la stelletta ✲ significa *fine di cifra* od *inteso*, il numero 1 indica *non inteso*. Il segno — dinota *frazione*. Per abbreviare il numero dei segni coi movimenti dell'ago, si è pensato di servirsi di due aghi col rispettivo moltiplicatore (fig. 467). In questo caso due sono i circuiti, e quindi si richiedono due fili, i quali colla terra adempiono a tale servigio. L'alfabeto con ciò resta semplificato, come è notato nella figura. Vi sono inoltre i segni di *fine* del dispaccio e di corrispondente *risposta*, i quali segni valgono eziandio per l'apparecchio ad un solo ago.

Nel *sistema a mostra*, detto anche con vocabolo improprio *a qua-*

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. IV, pag. 217.

drante, il manipolatore e l'indicatore formano due apparecchi distinti, i quali sono congegnati per la corrispondenza nel modo che procureremo di far comprendere. L'indicatore consiste in un cerchio, sulla cui superficie sono scolpite le lettere dell'alfabeto, le quali con qualche altro segno comprendono 24 spazi eguali. Una lancetta od indice è mobile intorno al centro per mezzo della ruota a sega *r* munita di 12 denti, di cui ognuno corrisponde a due degli spazi o segni scolpiti sul cerchio, che forma la mostra dell'apparecchio (fig. 468). Due calamite voltaiche C, C, al momento che sono magnetizzate dalla corrente elettrica, attraggono l'àncora *a*, che immediatamente l'abbandonano nell'interruzione del circuito, e ne è allontanata dall'elasticità della molla *m*. Il filo, avvolto ai cilindri di ferro dolce C, C, è sottilissimo e fa qualche migliaio di giri, e si unisce con un capo alla lamina di rame sprofondata nella terra. Compiendo ed interrompendo il circuito, si dà all'àncora un moto alternativo, il quale si trasforma in movimento circolare intermittente, diretto nello stesso verso mediante le briglie *b*, *d*: la briglia *d* tirando il dente della ruota *r* quando ha luogo l'attrazione dell'àncora, e la *b* spingendola quando cessa l'attrazione e la molla la riconduce al suo posto. La ruota *r* fa avanzare d'uno spazio la lancetta congiunta col suo asse tanto al momento che l'àncora è attratta quanto allorchè è allontanata per mezzo della molla. Operando il numero voluto di volte il compimento e l'interrompimento del circuito, s'intende come si possa condurre la lancetta di contro al segno desiderato.

La lancetta dell'indicatore è mossa in virtù della corrente, che è trasmessa pel filo conduttore ed attivata od annullata dal manipolatore, di cui pure fa parte un cerchio di legno C mobile intorno ad un perno fisso sul basamento di legno (fig. 469). Verso l'orlo di C è assicurata una larga zona d'ottone, su cui sono scolpiti gli eguali segni dell'indicatore, di contro ad ognuno dei quali havvi un foro alquanto profondo. La circonferenza del cerchio è intagliata di 12 cavità eguali ed uniformemente disposte, che sono riempiute da altrettanti pezzi metallici in comunicazione colla zona. Sopra altro perno, fisso pure sul basamento lungo l'asse del primo, è assicurato a snodatura il manubrio M, che è munito di un cilindretto acuminato. S'innalza il manubrio e s'introduce il cilindretto nel foro corrispondente alla lettera da essere trasmessa. È facile di spingere e far ruotare il cerchio e condurre la lettera contro al pezzo di fermata R, che serve ad ottenere in modo sicuro e spedito la pausa

per distinguere la lettera stessa sull'indicatore dell'estremità opposta della linea telegrafica. Sul basamento ed all'intorno del cerchio sono fissate tre lamine d'ottone P, F, A congiunte ai corrispondenti morsetti P', F'' A', i quali per mezzo di fili metallici comunicano rispettivamente col polo positivo della pila, col filo telegrafico della linea e coll'indicatore o coll'avvisatore. La lamina F è tenuta aderente con molla d'acciaio alla zona d'ottone del cerchio, e le altre due P, A all'orlo del medesimo in maniera che, mentre l'una riposa sopra uno dei pezzi di legno, l'altra tocca uno dei cunei di metallo.

Ciascun ufficio telegrafico, oltre della pila, è provveduto dei precedenti apparecchi. Allorquando non si opera, il manubrio M del manipolatore è sul foro del segno — contro il pezzo di fermata. In questa posizione la lamina A combacia col cuneo di metallo, mentre l'altra P tocca il dente di legno, per cui la pila rimane fuori d'azione, essendovi soltanto comunicazione fra la lamina F o il filo della linea e l'altra A che si unisce all'avvisatore e poscia all'indicatore. Tosto che in una stazione s'introduce la pila nel circuito, la corrente transita pel conduttore e mette in attività l'avvisatore dell'estremo opposto. L'impiegato a tale avviso unisce l'indicatore alla lamina A, e mettendo per un istante in azione la sua pila risponde d'aver inteso il richiamo e d'essere pronto a ricevere la comunicazione. Supponiamo che il primo impiegato debba trasmettere al secondo la parola *Italia*: egli introduce la punta del manubrio del manipolatore nel foro corrispondente alla lettera I e gira il cerchio sino al punto di fermata, dove si arresta per un istante, circa $^1/_5$ di secondo. La lancetta dell'indicatore sarà trascorsa rapidamente su tutte le lettere precedenti la I, la quale verrà riconosciuta nel breve istante della fermata. Il telegrafista, operando nello stesso modo, conduce successivamente al punto di fermata le lettere T, A, L, I, A che si riproducono all'altra stazione dalla lancetta dell'indicatore. Finita la parola, esso porta al punto di fermata il *segno finale* +, che si ripete egualmente all'osservatore, e la comunicazione è fatta. Si è in tal maniera che il telegrafista scrive il dispaccio al suo corrispondente posto a parecchie centinaia di chilometri di distanza: la sua penna, per la parte che s'impugna, è costituita dal manipolatore, e pel cannello dal filo conduttore, di cui la punta ravvisasi nella lancetta dell'indicatore. Il fluido per iscrivere è raffigurato dall'elettrico, il quale a guisa dell'inchiostro trascorre sulla carta rappresentata dall'indicatore. La

pila poi vien ad essere il vaso dove attigne l'elettrico o il fluido per questa specie di scritturazione.

Si è detto che a ciascuna stazione vi ha l'avvisatore, con cui è avvertito l'impiegato di tenersi pronto a ricevere il dispaccio. L'apparecchio consiste in una sveglia dei comuni orologi, la cui molla è ritenuta inoperosa dal notolino applicato alla ruota dentata. Al momento che alla stazione opposta si fa entrare nel circuito la pila, una calamita voltaica è resa attiva dall'elettrico che ne trascorre il filo e toglie, per la sua forza d'attrazione, il notolino dal dente, lasciando che la soneria sia posta in moto col martelletto, che successivamente percuote il campanello. Aggiungiamo altresì che nel sistema a mostra si è trovato conveniente di congiunger ad una molla spirale l'asse della ruota a sega dell'indicatore (fig. 468), e di permetterne il movimento collo stesso congegno del pendolo (§ 395) facendone oscillare la forchetta dello scappamento mediante l'azione intermittente della calamita temporaria.

Agli Stati-Uniti d'America la corrente elettrica, per mezzo di calamite voltaiche, mette in azione degli ordigni, coi quali si scrivono dei punti ed altri segni sopra una carta continua mossa da un tamburo su cui è distesa. Alle volte questi segni sono fatti da matite applicate a leve, che si muovono dalle calamite voltaiche, oppure stampati coll'inchiostro; d'ordinario consistono in semplici punti scolpiti da cilindretti acuminati d'acciaio mossi pure da leve. È questo il telegrafo di Morse, di cui il gabinetto di fisica di questa R. Università possede il modello. Bain ha sperimentato negli Stati Uniti medesimi un altro metodo d'impressione fondato sulla proprietà decomponente della corrente elettrica. Sul tamburo è avvolta una carta preparata con cianuro potassico e tenuta continuamente umida. La corrente è trasmessa da punte sulla carta dove lascia nel suo passaggio una macchia o segno azzurro in virtù della decomposizione del cianuro. Combinandosi in diverse maniere i segni scritti si compone l'alfabeto telegrafico. Si sa che, tanto con questi come coi sistemi precedenti una volta combinato l'alfabeto, le parole e le frasi si compongono secondo particolari convenzioni e secondo abbreviature che si apprendono da quell'arte della *sintematografia*, formandone un vocabolario conosciuto soltanto dagli individui incaricati della corrispondenza ai due estremi della linea.

1566. Dai fatti sinora esposti si è dimostrato che *coll'elettricità si genera il magnetismo*, e che si ottengono parecchi fenomeni magnetici sostituendo alle calamite altri corpi percorsi da correnti. Affinchè

l'identità della causa dei due ordini di fenomeni sia compiuta, d'uopo inoltre *dimostrare che col magnetismo si sviluppa l'elettricità* Lo scopritore delle correnti indotte ordinarie rinvenne eziandio quelle prodotte dalle calamite, e pubblicò le sue importanti indagini al principio del 1832, arricchendo così d'un nuovo ramo la scienza, cioè dell'elettricità risvegliata in virtù del magnetismo § 1370. Ecco le sperienze originali del celebre fisico inglese: una verga di ferro, della grossezza di poco più di millimetri 22, venne foggiata ad anello del diametro di millimetri 152, a cui avvolse un'elica formata di tre pezzi di filo di rame, della lunghezza ciascuno di poco più di 7 metri ed isolati l'uno dall'altro e dal ferro. Questi fili potevano a l'uopo essere riuniti in un solo continuo. Si chiami A questo primo sistema per distinguerlo da un secondo, che nomineremo B, collocato dentro l'anello e fatto di due fili simili a quelli del primo Ciascun filo aveva la lunghezza di poco più di 18 metri, ed i loro giri erano avvolti nello stesso verso del gruppo A Mise in comunicazione le estremità del sistema B coi capi del filo del galvanometro, e riunì i fili di A in un solo, che fece comunicare coi reofori d'una pila voltaica di 10 coppie, ciascuna di quasi 26 centimetri quadrati Al momento che compì il circuito, l'ago del galvanometro manifestò una corrente istantanea molto più energica di quando provocava l'induzione senza l'anello di ferro, quantunque la pila fosse diminuita di forza. Interrompendo il circuito voltaico, comparve una seconda corrente istantanea nel sistema B diretta in contrario verso della prima. Applicando all'estremità dell'elica B dei piccoli pezzi di carbone assai vicini, balenava una piccola scintilla all'istante in cui compiva il circuito adoprando una pila di 100 coppie. Lasciò il sistema B e fece comunicare col galvanometro uno dei fili di A, mentre i due altri riuniti assieme venivano posti nel circuito ottenne nel primo filo pure la corrente istantanea, e in una maniera ancora più distinta della precedente Colla pila di 100 coppie, i fenomeni diventavano di tale intensità, che l'ago del galvanometro, al momento dell'interruzione e del compimento del circuito, faceva parecchi giri sul suo asse.

Faraday sperimentò con altre disposizioni consimili alla precedente e ne ottenne effetti analoghi, i quali non devono essere attribuiti soltanto alle correnti indotte ordinarie prodotte colla pila voltaica (§. 1370), diventando in questo caso più energiche per la presenza del ferro.

Il ferro infatti diventa una calamita sotto l'azione delle correnti

elettriche (§ 1512), e in tale stato aumenta l'energia delle correnti indotte. È questa però una prova indiretta della produzione dell'elettricità mediante il magnetismo. Faraday, allo scopo di conseguire le correnti elettriche sotto l'influenza delle sole calamite ordinarie, avvolse ad un tubo di cartone metri 67 di filo di rame, che congiungeva col galvanometro mediante due altri fili della lunghezza di circa metri 1,52. Introduceva nel tubo un cilindro di ferro dolce, e disponeva due calamite della lunghezza di 61 centimetri in maniera che due dei loro poli eteronomi si mettevano a contatto coi capi del cilindro di ferro. Questo si magnetizza venendo a combaciare colle calamite, e può così acquistare o perdere le proprietà magnetiche, secondo che si stabilisce o si leva dal contatto. Al momento che le calamite venivano a combaciamento col cilindro di ferro, il galvanometro manifestava una corrente istantanea, che si riproduceva in verso contrario quando si toglieva. Rovesciando i poli delle calamite, con cui si toccava il cilindro di ferro, cambiava del pari la direzione delle due correnti indotte dal magnetismo. Questa direzione era tale che, all'atto del combaciamento, *la corrente nel filo dell'elica andava in verso contrario a quelle supposte circolare nelle calamite* (§ 1539).

A meglio confermare che quelle correnti erano dovute al magnetismo e non ad altre proprietà, che acquistasse il ferro in virtù delle calamite, Faraday introdusse nel tubo di cartone una calamita cilindrica del diametro di millim. 23 e della lunghezza di millim. 216. All'atto dell'introduzione il galvanometro mostrava la comparsa della corrente istantanea, che ricompariva in verso contrario quando si estraeva dal tubo. In queste ed altre sperienze consimili bisogna usare la precauzione che il movimento dell'ago non sia prodotto dall'azione diretta della calamita. Faraday sperimentò anche con una calamita della Società R. di Londra, la quale era capace di sostenere ben 50 chilogrammi. Un cilindro di ferro dolce della lunghezza di circa $^1/_4$ di metro, cui era avvolta un'elica di filo di rame in comunicazione coi capi del galvanometro, si presentò ai poli di quella vigorosa calamita, e si ottenne una corrente così energica che l'ago del galvanometro fece parecchi giri. Sinchè continuava il contatto, non si manifestava veruna corrente e l'ago ritornava a zero, ma all'istante in cui si distaccava il cilindro, l'ago indicava una corrente del pari energica in contrario verso della prima. Si conseguivano ancora degli effetti rimarchevoli di deviazione dell'ago, avvicinando il cilindro di ferro ai poli della calamita, senza metterlo al contatto;

come pure allontanandolo da quella posizione. Una spirale formata di filo di rame e della lunghezza di metri 4,50, produceva una grande deviazione nel galvanometro con cui comunicava, allorquando si avvicinava od allontanava da un polo della calamita. Con l'influenza d'una calamita capace a reggere il carico di quasi 18 chilogrammi, Faraday indusse nell'elica di rame una corrente capace a convellere la rana, ma non *giunse ad ottenere effetti chimici nè fisici di calorico e di luce colla scintilla*. Quest'ultimo effetto fu conseguito soltanto dall'illustre fisico inglese operando col metodo misto d'induzione elettrica e magnetica superiormente descritto.

Volendo ripetere queste sperienze nella scuola, bisogna procurarsi un rocchetto di legno o di cartone A, su cui è avvolto con parecchi strati di giri un sottile filo di rame coperto di seta (fig. 470). Abbia esso il diametro abbastanza grande per introdurlo comodamente nella calamita cilindrica B: al momento dell'introduzione comparisce la corrente elettrica al galvanometro che comunica coi capi del filo del rocchetto, e si riproduce la corrente contraria all'atto dell'estrazione.

1567. Faraday aveva letto alla Società R. di Londra la Memoria intorno ai nuovi fatti, e Nobili ed Antinori ne ebbero la semplice notizia dagli annunzi che ne fecero le gazzette avanti che fosse pubblicata. Dietro quelle semplici indicazioni, essi misero tosto al cimento quei fenomeni e li estesero in modo da partecipare anche essi all'onore di quella grande scoperta (1). Infatti i due fisici italiani immaginarono il congegno per ottenere, dalle correnti indotte in virtù delle calamite, la scintilla che non ha potuto avere Faraday. Il loro apparato consiste in una calamità comune a ferro di cavallo GH, composta di parecchie verghe d'acciaio, assicurata sopra il basamento di legno A per mezzo della fascia d'ottone *gh* (fig. 471). La calamita GH è rappresentata in proiezione sopra il piano orizzontale al pari dell'àncora *ef* di ferro dolce, cui è avvolta una spirale di lungo filo di rame coperto di seta e del diametro di un millimetro. L'àncora è attaccata alla leva EF girevole attorno ad un asse piantato sopra una colonnetta d'ottone, la cui base D è assicurata allo stesso piano AB.

(1) Le sperienze dei due fisici italiani si vedono nel fascicolo di novembre 1831 del giornale l'*Antologia*, pubblicato nel gennaio 1832. Il loro scritto può leggersi anche nelle *Memorie ed osservazioni* di Nobili succitate, t. I, pag. 207, ed una circostanziata relazione di questi fenomeni è stata da me pubblicata nel t.° LXVII. 1832, del giornale la *Biblioteca Italiana*.

Nella figura 472 è rappresentata l'elevazione della calamita colla rispettiva àncora *ef*. Un capo della spirale è applicato a nudo sulla calamita mediante la vite *o*, trovandosi l'altro capo pure a nudo avvolto al cilindretto d'ottone *d*, il quale è piantato in un pezzetto d'avorio incastrato nell'àncora, per tenere isolati i giri del filo. Al cilindretto è saldata la molla *m* d'acciaio, che serve per la *scintilla dell'attacco*. L'altra molla *m'* entra per un foro nel gambo della vite di *d*, da cui è premuta per tenerla in comunicazione colla spirale: questa molla si presta per la *scintilla del distacco*. Vi ha inoltre la molla rettilinea *n* congiunta col corsoio *c*, che s'innalza e s'abbassa mediante la vite di chiamata *v*, il cui mastio s'interna nell'asse cavo della colonnetta C. Questa appoggia sulla lamina d'ottone *ab* scorrevole sulla fascia di metallo del braccio della calamita. Nella lamina è fatta longitudinalmente un'apertura rettangolare, per la quale passa la vite di pressione *z*, con cui si fissa nella posizione più conveniente alla molla *n* per ottenere la scintilla d'attacco. La leva, colla rispettiva àncora, è rappresentata in elevazione nella figura 473.

La scintilla del distacco apparisce fra la molla *m'* e la calamita (fig. 472), la quale è a contatto colla molla stessa e compie il circuito del filo della spirale. Con urto violento di mano dato all'estremità della leva, si distacca l'àncora, la quale cessa d'essere magnetizzata e dà nascimento nella spirale alla corrente. Questa trova il circuito interrotto, per cui è obbligata a trascorrere per l'aria fra la calamita e la molla *m'*, che nel suo tremolio dà luogo al giusto intervallo dove apparisce la scintilla. La scintilla dell'attacco si ottiene fra le molle *m*, *n*. A tal fine si rallenta la vite *z* e si mettono le due molle a contatto, fissando la *m* nella giusta posizione, che è quella trasversale quasi parallela alla diagonale del basamento condotta da B (fig. 471). La molla *n* si dispone vicina al colmo dell'arco della *m* senza premerla di molto. L'attacco dell'àncora si fa pure rapidamente col mezzo della leva, e si ha la scintilla fra le due molle, che riesce meno brillante di quella del distacco, richiedendosi per la riuscita della prima che la molla *n* sia piuttosto pieghevole che resistente.

1568. All'apparato descritto si è unito, qualche anno dopo, un gazometro dove si sviluppa il gas idrogeno: il getto di questo fluido cade, al momento del distacco, fra la molla *m'* e la calamita, ed è infiammato dalla scintilla tratta in tal modo dalla corrente, essendosi così, come coll'elettrico ordinario (§. 1447), costruito l'*accen*

ditume magneto-elettrico, che esiste nel gabinetto di fisica del R. Liceo a S. Alessandro di Milano

Unendo, mediante due fili, i capi del galvanometro alla calamita *m o* ed al cilindretto *d*, e disponendo le molle in modo che non si tocchino fra loro nè la *m'* colle verghe magnetizzate, si verificano le due correnti, che nascono nell'attacco e nel distacco dell'àncora, di cui l'una va in contrario verso dell'altra Sostituendo nel circuito al galvanometro la rana preparata, si hanno le convulsioni come colle altre correnti elettriche Parimenti, mettendo nel circuito l'apparato di decomposizione contenente dell'acqua acidulata (§. 1459), oppure dell'ioduro di potassio, si hanno gli effetti chimici. Questi risultati di Nobili ed Antinori, e la decomposizione dell'acqua ottenuta contemporaneamente dal prof Botto (1), dimostrano che i nuovi fenomeni al loro nascere furono in Italia estesi ed illustrati, prima che fosse fatto pubblico lo scritto dell'illustre Faraday

1509 Le sperienze si moltiplicarono ben presto, non solo in Inghilterra dove nacquero quei fenomeni ed in Italia dove s'accrebbero e s'illustrarono, ma furono soggetto di studi presso i fisici di tutte le colte nazioni. Alcuni immaginarono *elettromotori magnetici* più energici di quello di Nobili ed Antinori, e capaci di prestarsi alle sperienze come la macchina elettrica comune o l'*elettromotore a stropicciamento*, la pila o l'*elettromotore voltiano*, l'*elettromotore termelettrico*, e l'*elettromotore per induzione* (§ 1372) Lo stesso Nobili costrusse a tal fine l'*elettromotore a calamite coniugate* (2), il quale si compone di due delle descritte di maggior vigore, dove l'àncora, al momento che si distacca da una si attacca ai poli dell'altra rivolti in contrario verso In tal maniera la corrente nata dal distacco della prima calamita, si unisce e si rinforza con quella dell'attacco alla seconda, e gli effetti riescono più intensi Siccome le correnti si sviluppano anche quando l'àncora si avvicina e si allontana dai poli della calamita senza venire ad effettivo contatto; così venne il pensiero di far ruotare l'àncora stessa in prossimità dei poli della calamita, con cui si ha pure ad ogni mezza rivoluzione due correnti che si sommano, quella nata nell'allontanare le estremità dall'àncora dai poli rispettivi, e l'altra nel ravvicinarle ai medesimi, alternandone le posizioni. Gli elettromotori

(1) *Notizia sull'azione chimica delle correnti magneto-elettriche* I ... 2 novembre 1832.

(2) *Memorie ed osservazioni succinte*, t. II, pag 51

magnetici più usitati sono quelli di Clarke e di Ettingshausen. Del resto, oltre questi due e quello di Nobili, anche Pixii, Dal-Negro, Saxton, Wheatstone, Pacinotti (1) ed altri immaginarono degli apparati somiglianti, che, pel modo di combinazione e per gli effetti conseguiti, non sono preferibili ai due primi nominati.

Le correnti indotte delle calamite appartengono alla medesima categoria di quelle indotte dalla pila. Infatti, al momento che si fa circolare nel filo la corrente voltiana e si compie il circuito, *la corrente indotta nel filo contiguo è diretta in direzione contraria all'induttrice* (§. 1371); del pari, all'istante che si mette la calamita in posizione d'esercitare la sua influenza sul filo, *ne nasce in esso la corrente che va in contrario verso di quelle induttrici circolanti nella calamita medesima*. Succede egualmente operando all'inverso, interrompendo cioè il circuito della pila e levando la calamita dalla presenza del filo della corrente indotta. Allo scopo di distinguerle si chiamarono le une *correnti elettro-elettriche*, e le altre *correnti magneto-elettriche*. Su quest' ultime fecero alcune giudiziose osservazioni Weber e Pacinotti (2).

1370. L'elettromotore magnetico di Clarke si compone di sette calamite di acciaio incurvate a ferro di cavallo, le cui braccia hanno la lunghezza di circa mezzo metro. Coi loro poli dello stesso nome sovrapposti si veggono riunite in A ed applicate alla tavola verticale B, cui sono ritenute aderenti per mezzo di vite e della traversa C (fig. 474). La doppia ancora EF è fissa colla sua armatura all'albero di rotazione abbracciato dalla fune continua della ruota G, che vien mossa per mezzo d'un manubrio. Su ciascun cilindro di ferro dolce E, F è avvolto per molti giri il filo di rame coperto di seta, ed un capo dell' uno e dell' altro si uniscono e sono fissati all'armatura D dell'ancora. Nella ruotazione il cilindro E si allontana dal polo, che gli sta di contro, e nasce nel suo filo una corrente indotta, nasce eziandio nel filo di F altra corrente, la quale avrebbe direzione opposta alla prima, per essere sotto l'influenza di diverso

(1) Per l'elettromotore magnetico di Pixii, si vegga il t. II, pag. 65 delle *Memorie ed osservazioni* succitate di Nobili, dove lo mette a confronto col suo a calamite coniugate; in quanto a Dal Negro gli *Annali delle scienze* succitati, t. II, del 1832; riguardo a Saxton il *London and Edimburg philosophical Magazine*, n° 19, pag. 360; per quello di Wheatstone gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XV, pag. 144; e per l'altro di Pacinotti gli stessi *Annali*, t. VII, pag. 238.

(2) Si veggano pel primo gli stessi *Annali*, t. IV, pag. 259, t. VI, pag. 164, e t. VIII, pag. 248; e pel secondo, t. VIII, pag. 3.

polo, se i giri del filo F non fossero in contrario verso a quelli di E, per cui le due correnti diventano cospiranti e si riuniscono in una sola. I due altri capi delle spirali si congiungono al tubo o cilindro cavo di rame *k* infilato nel solido fusto metallico attaccato all'armatura D sul prolungamento dell'albero di rotazione, ed isolato dal medesimo mediante un rivestimento di duro legno. Al pezzo *k* segue l'altro d'interruzione *h* pure applicato sul fusto. La molla *p*, della figura d'uncino, è posta d'ordinario a contatto col pezzo *h* ritenuta mediante la vite di pressione sul pilastrino metallico piantato nello zoccolo di legno Z e in comunicazione colla lamina *m* posta sullo stesso zoccolo. La molla *q* preme sull'altro pezzo *k* ed è egualmente ritenuta da vite a contatto con altra lamina *n*. Le due molle sono designate a parte in O unitamente al fusto ed ai due pezzi cui stanno aderenti. Il conduttore T riunisce d'ordinario le due lamine metalliche *m*, *n*, e la riunione si fa alle volte con altri corpi, come apprenderemo quanto prima secondo le sperienze che s'istituiscono. In tale disposizione le correnti, risvegliate nei due induttori, invadono riunite l'armatura D e in una sola passano pel fusto nella molla *p*, donde pel conduttore T sono trasmesse all'altra molla *q*, e, transitando pel pezzo isolato *k*, ritornano rispettivamente nei fili degli induttori medesimi.

Nell'elettromotore d'Ettingshausen le calamite sono disposte orizzontali in A, e per mezzo della vite e della traversa, ritenute sulla tavola B, la quale è sostenuta da quattro colonnette e dal robusto telaio T, che serve di piedestallo all'apparato (fig. 475). Nello spazio interposto ai due piani del telaio è collocata la ruota G colla fune continua, la quale si accavalla eziandio alla girella infissa nell'albero di rotazione, che porta la doppia àncora EF. L'albero si può innalzare sul punto d'appoggio P quanto conviene per portare le facce degli induttori E, F alla minima distanza dalle calamite. D'altronde queste, quando si rallenti la vite da cui sono ritenute, si fanno trascorrere sulla tavola in modo che i loro poli corrispondano esattamente agli assi degli induttori. I cilindri di ferro in tal guisa provano la massima azione magnetica, in presenza delle calamite, senza venire con esse ad immediato combaciamento. All'armatura dell'àncora è saldamente attaccato un solido fusto metallico, in cui è introdotto il tubo o cilindro cavo di ferro *k* disegnato in O, il quale ne è isolato mediante un'anima di legno d'eguale forma. Nel fusto entra il secondo pezzo cilindrico *h*, nel cui orlo inferiore è fatto un intaglio, che s'estende per metà della periferia, e nel superiore si

trovano due cavità diametralmente opposte, che servono pure per l'interruzione della corrente. I fili degli induttori E, F si riuniscono con una loro estremità all'armatura e coll'altra al pezzo isolato k. Le correnti indotte nei fili di E, F passano riunite anche in questo elettromotore per molle di metallo in due lamine laterali m, n, di cui ciascuna è munita di quattro fori segnati 1, 2, 3, 4 con viti di pressione. Le molle sono fatte di fili metallici, che si assicurano nei fori e rimangono aderenti ai pezzi k, h, variandone la posizione secondo gli effetti che si vogliono conseguire, come quanto prima apprenderemo. Intanto osserviamo che la molla, ritenuta nel foro 1, aderisce al pezzo isolato k, nel foro 2, viene a corrispondere sul terzo superiore della superficie del pezzo h; nel foro 3, combacia colla linea media della detta superficie, e nel foro 4 si trova aderente sul terzo inferiore della medesima.

In questo elettromotore, oltre la posizione delle calamite, le spirali sembrano meglio combinate coi pezzi di congiunzione pel conseguimento degli effetti della corrente, come mi è risultato dal confronto che feci coi due apparati e con quello a calamite coniugate di Nobili, che si trovano nel gabinetto di fisica del R. Liceo a S. Alessandro di Milano, e che furono costrutti sotto la direzione dei rispettivi autori. Essi sono composti dell'eguale numero di verghe calamitate pressochè dell'eguale lunghezza, essendo soltanto quelle di Ettingshausen di minor grossezza. Per decidere però quale sia la migliore disposizione negli elettromotori nominati, bisognerebbe sottoporli alle prove di confronto colle stesse calamite da applicarsi successivamente a ciascun apparato.

1571. Gli effetti prodotti cogli elettromotori descritti riescono più distinti di quelli conseguiti in origine con una sola calamita (§ 1568). Prima di mostrare la maniera d'operare nei diversi casi, dobbiamo notare che ciascuno dei due apparati è provveduto di due coppie d'induttori, l'una a grosso e corto filo, l'altra a sottile e lungo filo. La prima si adopera nelle sperienze risguardanti gli effetti fisici di luce, calore e magnetismo, i quali richiedono pile voltaiche piuttosto di grandi piastre che di molte coppie (§§ 1450 e 1522); la seconda serve nelle sperienze intorno agli effetti fisiologici di scosse ed a quelli chimici di decomposizione, i quali richiedono pile voltaiche piuttosto di parecchie coppie che di ampie piastre (§§ 1479 e 1460). La distinzione, di *effetti di quantità* nel primo e di *effetti d'intensità* nel secondo caso, è inesatta dopo che si conoscono le leggi generali, che segue la forza della corrente elettrica (§ 1417). Tuttavolta si

suol dire che gl'induttori a grosso e corto filo costituiscono l'*ancora di quantità*, e quelli a sottile e lungo filo l'*ancora d'intensità*. Il filo in ciascun induttore d'intensità ha la grossezza di qualche frazione di millimetro e la lunghezza di 700 in 750 metri, mentre in ogni induttore di quantità è molto più grosso ed ha la lunghezza di circa 40 in 45 metri. Osservisi inoltre che, nell'ancora d'intensità dell'elettromotore d'Ettingshausen, il filo da uno degli induttori si prolunga e si avvolge sull'altro induttore formandone uno solo, e quindi le code sue estremità si congiungono rispettivamente ai pezzi con cui si compie il circuito. Dopo questa dichiarazione s'intenderà applicata all'elettromotore l'una o l'altra ancora in corrispondenza agli effetti che si desiderano conseguire.

1572. Nel primo elettromotore la scintilla apparisce [illegible] compreso fra la punta della molla *p* e il pezzo *h* [illegible] per la cavità è interrotto il circuito (fig. 474). Affinchè l'effetto sia [illegible] bisogna che il pezzo d'interruzione sia disposto in maniera che la molla *p* si separi nello stesso tempo che gl'induttori [illegible] si discostano dai poli magnetici, continuando [illegible] sul pezzo [illegible] lato [illegible] S [illegible] conduttore T [illegible] come nella figura 476 [illegible] fra [illegible] applicate alle pinzette di due conduttori a manico [illegible] d'un sottilissimo filo [illegible] si ottiene [illegible] figura 477. Il filo di ferro [illegible] ad un'estremità [illegible] all'altra messo a contatto coll'armatura [illegible] ancora in movimento (fig. 478). Gli effetti magnetici [illegible] galvanometro introdotto nel circuito, e anche facendo transitare la corrente indotta per l'elica [illegible] (figura 479). La medesima corrente è capace [illegible] di produrre la rotazione, che si è veduto aver [illegible] corrente [illegible] (§ 1544).

La rana, preparata alla maniera di Galvani, e posta nel [illegible] invece del conduttore T (fig. 474), prova moti spasmodici come colla corrente voltaica [illegible] come quella d'induzione [illegible] impugnando [illegible] due conduttori R, S, [illegible] mani inumidite d'acqua salata, la persona prova una forte commozione, [illegible] energica aggiungendo [illegible] comunicazione diretta [illegible] conduttori [illegible] R, S [illegible] vedono [illegible] V [illegible] conduttori [illegible] le cui estremità si attaccano delle spugne inzuppate [illegible] salata, che si mettono in contatto colle parti della persona, per le quali si vuol far transitare la corrente [illegible]. La decomposizione [illegible] può aver luogo col solito apparato, che s'introduce nel circuito

della corrente nel modo che mostra la fig 480 All'apparato pei liquidi si sostituisca due dischi di platino, fra i quali si pone un pezzo di carta imbevuta di tintura di tornasole, di curcuma o di ioduro di potassio, queste materie sono pure decomposte bagnando la carta con una soluzione di sal neutro per renderla conduttrice (fig. 481)

Altre sperienze consimili s'istituiscono disponendo l'elettromotore secondo l'effetto che si desidera di conseguire. Un piccolo vasellino di metallo (fig. 482), munito di gambo incurvato con cui si obbliga nel foro del pilastrino, s'empisca di mercurio, e nel fusto s'introduca, invece del pezzo *h* (fig. 474), un anello metallico con due punte che vengono a toccare quel liquido (fig. 482): mettendo in moto l'ancora, ad ogni toccamento apparisce una scintilla e si sviluppa abbastanza calorico da ossidare il mercurio. Versando nel vasellino dell'etere, si ha l'accendimento di questo liquido. La scintillazione fra due differenti metalli si conseguisce anche colla disposizione stessa della fig. 476.

I diversi effetti si conseguiscono pure colla corrente promossa dall'altro elettromotore. Collocando la molla d'ottone nel foro 1 di *n* e la molla d'acciajo nel foro 2 (fig 475), comparisce su questa la scintilla la quale riesce più brillante in causa della combustione dell'acciajo. Si ha pure il fenomeno congiungendo le due lamine *m*, *n* con un filo conduttore introdotto nei fori 4, ed assicurando la molla d'ottone nel foro 1 di *m*. Per l'incandescenza del filo di platino si dispongono le molle nei fori 3 di *m* ed 1 di *n*, e le estremità del conduttore, che forma il circuito con quel filo, nei fori 1 di *m* e 2 di *n*. Il filo della lunghezza di 8 in 9 mill. ben presto si riscalda e diventa ignescente con vivo splendore tendente al bianco. Si fonde e si abbrucia un sottile filo di ferro del n°. 12 disponendo le molle ed i conduttori di rame come precedentemente. Ad uno di questi si attacca un pezzo massiccio di ferro ed all'altro il sottile filo dello stesso metallo piegato in elica. Ora si metta in moto l'ancora e si adduca al contatto l'estremità libera del filo di ferro col pezzo massiccio tosto compariscono fra i due corpi delle scintille di fuoco prodotte dalle particelle del ferro fuse ed abbruciate in virtù della corrente indotta. Operando in una maniera analoga si producono altri effetti, cioè l'inflammazione dell'etere, la combustione di altri metalli, l'accensione del mercurio fulminante ecc. Sotto l'azione della corrente magneto-elettrica si ottengono, come colla voltaica, i fenomeni della magnetizzazione degli aghi d'acciajo (§ 1511), della trasformazione del ferro dolce in calamite temporarie (§ 1512),

della deviazione dell'ago magnetico (§. 1522), del giro del filo di rame attorno al polo d'una calamita (§. 1548); della rotazione del molinello elettrodinamico (§. 1550), della rotazione della calamita intorno al suo asse (§. 1555) ed altri consimili. Osserviamo che ad ogni intera rivoluzione dell'àncora nascono nei fili, degli induttori, due correnti contrarie, mentre al conseguimento dell'effetto è necessario d'introdurne nel circuito una sola, svolta ad ogni mezza rivoluzione. A tal fine si dispongono le molle nei fori 4 di *m* ed 1 di *n*, ed i fili conduttori per la corrente attiva si assicurano nei fori 1 e 2 di *m*. Con tale disposizione la molla in 4 di *m* abbandona, durante una mezza rivoluzione, il pezzo *h* per cui si rende attiva una sola delle correnti. Importa però che l'interruzione del contatto, fra la molla 4 di *m* e il pezzo *h*, succeda nell'istante del cambiamento di direzione della corrente, il quale ha luogo soltanto dopo che gl'induttori dell'àncora ruotante hanno di già abbandonato il rispettivo polo magnetico, e nel caso di vigorose calamite e di celere rotazione quando i fili si sono allontanati dal polo magnetico d'un'arco di 45°. Tenendo la molla 4 di *m* colla mano si può stabilire in ogni caso la giusta posizione pel conseguimento dell'effetto.

Allo scopo di avere le convulsioni della rana e le scosse alle braccia d'una persona o in qualunque altra parte d'un animale, si collocano le molle nei fori 2 di *m* ed 1 di *n*, e i conduttori della corrente nei fori 1 di *m* e 4 di *n*. Si uniscono ai conduttori due cilindri d'ottone o d'argentone quando si vuole dare la scossa ad una o più persone, le quali al solito si bagnano le mani con acqua salata. Le scosse si rendono più frequenti coll'aggiunta d'una terza molla nel foro 2 di *n*, ed esse risultano abbastanza forti quando la corrente si fa passare per un circolo di 30 e più persone. L'effetto della scossa riesce sensibile impugnando i cilindri senza bagnare le mani, si modera però coll'allontanare le verghe calamitate o col levarne alcune diminuendo il numero delle attive. In riguardo agli effetti chimici diremo che, per la decomposizione dell'acqua acidulata, del ioduro di potassio, dell'acetato di piombo e simili, si collocano le molle nei fori 4 di *m* ed 1 *n*, ed i fili conduttori nei fori 1 di *m* e 4 di *n*, giacchè anche in questo caso è necessario impiegare una sola delle correnti indotte diretta per un solo verso (1).

(1) Stöhrer di Lipsia ha pure costrutto recentemente un elettromotore magnetico, il quale sembra bene combinato: si vegga *Bericht über neusten Fortschritte der Physik*, di Müller. Brunsvig 1851, pag. 676.

1573. Colle correnti magneto-elettriche si conseguiscono dunque tutti gli effetti avuti colle ordinarie, essendosi già detto ch'esse si prestano eziandio pei fenomeni di raffreddamento (§. 1456). Si comprende altresì come l'elettromotore magnetico possa servire alla telegrafia invece dei voltiani (§. 1562), non prestandosi però utilmente che pel sistema ad aghi (§. 1565).

Vi sono alcune esperienze intorno alle eliche per le correnti indotte, da cui sembra che al filo di rame convenga sostituire quello di ferro, col quale non solo si avrebbe un'economia di spesa, ma un aumento di forza della corrente (1). Si osservi inoltre che la corrente voltaica, circolante per un'elica di filo di rame applicato all'estremità d'una lunga verga di ferro, dà a questa lo stato magnetico, per cui in altra elica, applicata sulla stessa verga, si risveglia la corrente magneto-elettrica, la quale diminuisce in intensità a misura che l'elica stessa si allontana da quella magnetizzante. Dall'intensità che prendono le correnti, indotte in tal maniera colla magnetizzazione per mezzo dell'elettricità (2) e per l'influenza di calamite permanenti, si può riconoscere sino a qual distanza si propaghi il magnetismo temporario nel ferro dolce.

1574. Avanti la scoperta dell'induzione magnetica fatta da Faraday, erano noti alcuni fenomeni della stessa specie, che si denominavano magnetici senza esserne ben chiara l'origine. Da parecchi anni i fisici avevano osservato che le oscillazioni dell'ago calamitato, in presenza dei corpi, riuscivano tanto più celeri quanto più questi si accostavano alla classe dei coibenti dell'elettrico. L'ago infatti compie nello stesso tempo un maggior numero d'oscillazioni in presenza del piombo che dello zinco, ed ancor più del rame e dell'argento. Le oscillazioni in presenza del legno riescono più celeri di quelle che succedono in vicinanza del marmo, ed ancor più delle altre fatte dirimpetto al piombo.

Nello stesso modo che i corpi in riposo influiscono sulle oscillazioni dell'ago calamitato, sembra che i primi in movimento debbano esercitare qualche azione sul secondo in quiete. Questa congettura, per opera del celebre Arago, divenne nel 1825 una verità dimostrata dall'esperienza. Infatti, in vicinanza d'un disco di rame, egli sospese parallelamente un ago calamitato ben chiuso in una cassetta, al disotto del quale fece ruotare il disco, ed osservò che l'ago

(1) *Annali di fisica ecc. più volte citati*, t. XVIII, pag. 51.
(2) Si veggano gli *Annali suddetti*, t. XXVIII, pag. 29.

stesso veniva deviato e seguiva quel moto di rotazione (1). Se ne conchiuse quindi che non solo le correnti voltaiche e le termelettriche danno ai corpi non magnetici la facoltà di agire sull'ago calamitato, ma eziandio la semplice rotazione di quei corpi, per cui il fenomeno venne attribuito ad un *magnetismo di rotazione*, mentre dipende pure da correnti elettriche.

Allo scopo di chiarire l'origine di questi singolari fenomeni s'intrapresero ovunque parecchie sperienze, ed in Italia furono principalmente studiati da Nobili e Bacelli (2). Tutte quelle indagini però non ne fecero avanzare d'alcun passo la teorica, essendosi per esse soltanto stabilito che i liquidi, la carta, i legni, il vetro ed altri corpi cattivi conduttori o coibenti dell'elettrico esercitano poca o nessuna azione sull'ago calamitato, al contrario di quanto si riscontra nel rame ed in altri metalli a norma della loro facoltà conduttrice. Succedette poscia la scoperta di Faraday, per la quale il così detto magnetismo di rotazione comparve nella sua vera luce entrando pur esso nei fenomeni d'induzione. Anzi lo stesso Faraday propose come elettromotore magnetico un disco di rame in rotazione col lembo fra i poli di due calamite, i cui effetti però non sono da paragonarsi a quelli degli apparati descritti. Le correnti indotte nei dischi, globi, ecc. di metallo, ruotanti in presenza di calamite, si raccolgono col filo del galvanometro, il quale ci attesta la loro esistenza.

Procuriamo di meglio far comprendere come il così detto magnetismo di rotazione dipenda dalle correnti indotte. Sia ns l'ago calamitato in situazione parallela al disco orizzontale di rame *abcd*, e col punto di sospensione sul prolungamento dell'asse di rotazione (fig. 485). Le frecce esterne indicano il verso per cui ruota il disco, e le due, apposte all'ago *ns*, la direzione delle correnti che, secondo quanto si è dovuto ammettere (§ 1839), passano al disotto per ascendere al disopra e circolare attorno al medesimo. Mettendo in moto il disco secondo l'indicazione delle frecce, le parti del medesimo, che successivamente entrano sotto l'influenza dei poli dell'ago, sono le segnate *m*, e quelle che se ne sottraggono le *n*. Si generano quindi nel disco delle correnti indotte, le quali nelle parti *m* hanno

(1) *Annales de chimie et de physique*, 2.ª serie, t. XXVIII, pag. 325.

(2) *Memorie ed osservazioni raccolte*, t. I, pag. 15. Breguet ha determinato l'ordine dei metalli pel magnetismo di solenoide in un modo un poco diverso come dai degli *Annali*, t. XXVII, pag. 132.

la stessa direzione delle correnti magnetiche circolanti al disotto dell'ago, e in quelle m la direzione contraria (§. 1569) Vi sarà dunque attrazione fra le parti n del disco ed il polo corrispondente dell'ago e ripulsione fra le parti m ed il polo medesimo (§. 1555). È agevole di riconoscere che queste forze attrattive e ripulsive riescono cospiranti e tendono tutte a far girare l'ago nella direzione stessa del disco, come risulta dall'esperienza A dir vero le correnti circolanti nell'ago sono ascendenti all'ovest, transitano al disopra in verso contrario del disotto, discendono all'est per ripigliare il loro corso. Si ha con ciò un'azione complessa, la quale si decompone in tre forze la 1ª perpendicolare al disco, la 2ª paralella al disco e perpendicolare all'ago, la 3ª paralella a l'ago medesimo La seconda componente è la forza tangenziale che imprime il movimento di rotazione al 'ago. Queste forze nascono pure quando è in moto l'ago ed il disco in quiete, ed ecco quindi come la presenza dei corpi conduttori radenti le oscillazioni degli aghi calamitati. Il cerchio graduato de galvanometri si suole perciò fare di rame, allo scopo di estinguere più presto le oscillazioni dell'ago per ritornare nella situazione necessaria a nuove misure.

I fenomeni discorsi si dimostrano nella scuola col così detto *apparato del magnetismo di rotazione.* Esso si compone d'una cassetta di legno, dove è disposto l'albero verticale, che si mette in azione mediante il sistema di ruote dentate rappresentato nella fig. 484 ed il manubrio M cui si applica la forza motrice. Nell'estremità quadrangolare dell'albero s'introduce l'imboccatura del pezzo centrale del disco di rame, e la cassetta si chiude con un coperchio formato di pelle distesa sopra un telaio a guisa del tamburo. L'ago calamitato ha la forma di parallelepipedo ed il suo perno riposa sul coperchio nel punto cui corrisponde l'albero di rotazione. Tosto che s'imprime il moto al disco, l'ago concepisce dei movimenti e declina di alcuni gradi dal meridiano magnetico. A misura che la rotazione si accelera, la declinazione diventa maggiore, sinchè, giunta la velocità ad un certo punto, l'ago incomincia a girare con moto sempre crescente del rivolgimento del disco Se si sperimentasse con un disco di legno ben secco e verniciato non si avrebbero su di esso le correnti indotte e mancherebbe l'effetto. Ma allo stesso scopo serve meglio per le dimostrazioni un disco di rame diviso da fenditure in tanti piccoli settori, per cui, venendo impedita la circolazione delle correnti indotte, l'ago rimane immobile.

1577. Manifestando il nostro globo il potere magnetico, ne veniva

per conseguenza d'indagare la sua influenza a far nascere le correnti indotte. Faraday istituiva delle sperienze su questa specie d'induzione, ed ebbe indizi sensibili di correnti al galvanometro con spirali di rame, nel cui asse collocava un cilindro di ferro dolce. A tal fine lo disponeva dapprima nella direzione dell'asse magnetico della terra, e poscia lo rivolgeva prestamente in modo da cangiare posizione alle sue estremità, conservandolo nella stessa direzione lungo l'asse magnetico. Ebbe eziandio le indicazioni introducendo il cilindro di ferro dolce nella spirale e poscia levandonelo. Il verso della deviazione galvanometrica faceva palese che il magnetismo terrestre agiva come avrebbe fatto una calamita a ferro di cavallo, il cui polo boreale fosse posto a contatto coll' estremità inferiore del cilindro di ferro ed il polo australe coll' inferiore. Ebbe altresì delle indicazioni dall' induzione della sola spirale di filo, rivolgendola nel meridiano magnetico, ottenendone però delle correnti molto più deboli. Sottopose il disco ruotante all'influenza del magnetismo terrestre, e il galvanometro gli diede pure segni di correnti. In generale queste si chiamano *correnti telluro-elettriche* per distinguerle dalle *magneto-elettriche*, che nascono in virtù dell' induzione delle calamite (§. 1569).

Nobili ed Antinori, subito dopo Faraday, fecero soggetto dei loro studi anche l' induzione tellurica, che ripigliarono più tardi avvolgendo le eliche di rame su grandi zone circolari di legno. Dalle sperienze dei due illustri fisici italiani risulterebbe che *le intensità delle correnti telluro-elettriche sono in ragione diretta del diametro delle spirali, della grossezza dei fili e, sino ad un certo termine, del numero dei giri, di cui le spirali stesse si compongono* (1). Sperimentai io pure l'induzione tellurica con filo di rame del diametro di 2 millimetri e della lunghezza di 140 metri, e con altro di 3 millimetri e lungo circa la metà del primo, e rilevai che *la velocità di rivolgimento della spirale* ha molta parte nella produzione del fenomeno, e che *l'intensità della corrente andò sempre crescendo colla velocità*, principalmente col filo lungo (2). Questi studi preliminari erano diretti allo scopo di riconoscere le migliori condizioni per combinare un apparato abbastanza comodo e proprio all'ottenimento delle correnti telluro-elettriche, ed appresi sin d' allora che si poteva sacrificare alla grossezza del filo ed

(1) *Memorie ed osservazioni ecc.* succitate, t. I, pag. 244

(2) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. V, pag. 145

alla grandezza della spirale, aumentando la velocità di rivolgimento della medesima. Altre cure mi distolsero di continuare tosto su tale norma nelle indagini dirette alla costruzione dell'apparato; quando, ben più d'un anno dopo, mi pervenne a notizia che i professori Palmieri e Linari si occupavano pure dello stesso soggetto. Pubblicai nei miei *Annali di fisica* ecc. il loro scritto, non mancando di notare quanto la velocità di rivolgimento o di rovesciamento della spirale contribuiva ad accrescere l'intensità della corrente (1) e quindi a produrre variazione nelle leggi stabilite da Nobili ed Antinori. Allo scopo di avere delle correnti abbastanza energiche senza grandi spirali, ed un apparato per la sua mole comodo nelle sperienze, Palmieri e Linari credettero di rinforzare l'induzione col mezzo del ferro dolce. In tale costruzione si avvantaggia bensì da un lato, ma si perde moltissimo dall'altro della velocità per la gran massa di ferro e di rame da moversi. Essi riunirono infatti parecchi elementi formati di ferro e filo di rame, disposti in maniera che gli effetti si sommassero, come aveva fatto il prof. Del Negro, colle correnti indotte dalle calamite. Operando in tal maniera i due fisici italiani ebbero non solo le deviazioni galvanometriche, ma ben anche la scossa, la decomposizione dell'acqua, già conseguita da Botto (2), e più tardi la scintilla (3). Palmieri introdusse in seguito alcuni miglioramenti nelle disposizioni della batteria tellùro-elettrica, con cui conseguì più distinta la decomposizione dell'acqua unitamente agli effetti chimici della decomposizione del ioduro di potassio, del solfato di rame ecc.; ed inoltre giunse ad avere l'arroventamento d'un sottilissimo e cortissimo filo di platino e la calamitazione temporaria del ferro dolce (4). L'induzione, nella suddetta batteria tellurica, era sempre fatta col sussidio del ferro circondato da eliche di filo di rame; ma interessava di comporre un apparato in cui la corrente fosse indotta nelle spirali di rame dall'azione del magnetismo terrestre senza l'aiuto di quello temporario del ferro. Si osservi che Nobili ed Antinori ammisero troppo presto, dietro le loro sperienze, che l'aumento del numero dei giri della spirale era molto limitato per

(1) *Annali* suddetti, t. v, pag. 147 e t. x, pag. 344.

(2) *Esperienze sull'azione chimica delle correnti indotte dal magnetismo terrestre*. Torino maggio 1834.

(3) *Annali di fisica* ecc., t. xiii, pag. 290 e t. xiv, pag. 230.

(4) Gli stessi *Annali*, t. xviii, pag. 113; per la batteria, t. xvii, pag. 21.

raggiungere successivamente un aumento d'intensità della corrente. Una tale deduzione infatti è vera quando non si accresca nello stesso tempo la velocità di rivolgimento della spirale, come risulta dalle mie sperienze (1). È all'appoggio di tale principio che Palmieri ha in seguito potuto costruire la sua *macchina telluro-elettrica*, la quale ormai deve far parte della suppellettile dei principali gabinetti di fisica, che appunto qui descriviamo (2).

La *macchina telluro-elettrica* o l'*elettromotore telluro-elettrico* si compone d'una zona elittica di legno A B, sulla quale è adagiato il filo di rame (fig. 485). L'asse maggiore dell'elisse è di metri 1,5 ed il minore di metri 0,8, il filo ha la grossezza di millimetri 1 $^1/_2$ ed è disposto in sette ordini, che formano in tutto 210 giri. L'uno degli estremi del filo si unisce all'anello d'ottone, cui è congiunto il disco di ferro *d* (fig. 460); l'altro coll'asse interno *p*, rimanendo i due pezzi metallici dell'anello col disco e dell'asse separati da un rivestimento isolatore d'avorio o di legno. Per tal modo il disco *d* e l'asse metallico *p* riescono i due poli dell'apparecchio. I capi di ciascun ordine di giri sono d'ordinario riuniti l'uno all'altro per formare un solo filo ed una sola spirale; ma si possono anche separare l'uno dall'altro, per riunire un minor numero di ordini ed avere la spirale indotta composta di minor numero di giri. La scintilla infatti si mostra abbastanza brillante componendo la spirale di soli 4 ordini o di 120 giri di filo. In tal maniera si disporrebbe la spirale come le così dette àncore di quantità e d'intensità degli elettromotori magnetici ordinari (§ 1371). Tutti gli effetti però si ottengono in un modo più distinto e sicuro adoprando la spirale con tutti i sette ordini di filo. La zona elittica si mette in movimento mediante il manubrio *m* (fig. 485), con cui si fa girare la ruota dentata e il rocchetto infisso sull'asse di rotazione della spirale. L'intero apparato è sorretto da un sostegno di ghisa, e *la spirale*, soggiunge Palmieri, *si può mettere in moto più agevolmente, ed i suoi effetti possono più facilmente rendersi maggiori* (*Annali* t. XXII pag. 226).

Alla produzione della corrente è indispensabile che la macchina sia disposta coll'asse di rotazione perpendicolare al meridiano magnetico,

(1) Lenz molto più tardi ha mostrato l'influenza della velocità nelle correnti indotte dal magnetismo del ferro, come dagli *Annali* suddetti, 2ª serie, t. 1 p. 186.

(2) Si veggano per questa macchina gli *Annali* suddetti t. XIX, pag. 115, e t. XXII, pag. 225. Chi bramasse di conoscere quale parte in comune ed individuale abbiano avuto Palmieri e Linari nelle indagini telluro-elettriche, può consultare il t. XX, pag. 160 dei medesimi *Annali*.

onde i giri della spirale siano paralleli alle correnti induttrici, circolanti nel globo terrestre dall'est all'ovest (§. 1541). L'apparato è fornito dello zoccolo A (fig. 486), delle molle e dei pezzi all'estremità dell'asse come l'elettromotore di Clarke (§. 1570), ed inoltre del corredo dei diversi ordigni necessarii alle sperienze. Talchè si ottengono gli effetti fisici, fisiologici e chimici disponendo le diverse parti nello stesso modo con cui si opera mediante quell elettromotore (§. 1572). Si prova la scossa impugnando colle mani bagnate i cilindri h, h annessi ai due conduttori della corrente. Ma si ha un aumento di quest'effetto servendosi del metodo adoperato da Volta colla sua pila. S'introducano rispettivamente i conduttori nell'acqua salata di due grandi vasi di terraglia, di vetro ecc. mentre la mano sinistra pesca in un liquido, s'immergano le dita della destra nell'altro, e si ha la scossa molto più risentita che coi cilindri.

SEZIONE II

Del magnetismo ordinario.

1576. Indipendentemente da qualunque operazione dell'arte, esiste la calamita nel seno della terra (§. 1505). L'acciaio d'altronde acquista il potere del magnetismo sotto l'azione dell'elettricità (§. 1511) e delle calamite come apprenderemo, inoltre lo conserva e si trasforma in una vera calamita permanente dopo cessata la causa eccitatrice. I fatti ed i fenomeni, che presentano le calamite naturali ed artificiali, anche relativamente agli altri corpi ed al globo terrestre, costituiscono appunto nel loro complesso il *magnetismo ordinario*. I geologi hanno osservato che le miniere di ferro sono calamite naturali di differente forza, le migliori delle quali si riscontrano, come si disse, nella Norvegia, cui tengono dietro quelle della nostra isola d'Elba. Le calamite artificiali, fatte d'acciaio, però sono comunemente le più potenti, e le naturali si rendono di maggior energia concentrando la loro forza con *armature di ferro dolce* nella maniera che insegneremo.

È noto da molto tempo l'azione attrattiva che la calamita esercita sul ferro, sul nicolo e sul cobalto, sui loro composti e su qualche altro metallo. Brugmann inoltre nel trascorso secolo, e nel presente Coulomb (1) hanno trovato che tutti i corpi lavorati sotto forma di

(1) *Antonii Brugmann Magnetismus, seu de affinitatibus magneticis, observationes magneticae.* Lugd. Batav. 1778; e per Coulomb si vegga il *Traité de physique expérimentale et mathématique*, par Biot, t. III, pag. 117

piccoli aghi, e resi liberi sull'acqua o sul mercurio ben puro come faceva il primo, oppure sospesi a filo di bozzolo come praticava il secondo, risentono nelle loro oscillazioni l'influenza dei poli contrari di vigorose calamite, cui erano posti in presenza. L'oro, l'argento ed altri metalli, il vetro, diversi legni, le terre di qualunque natura, le pietre preziose e tutte le materie organiche ed inorganiche manifestarono il fenomeno ai fisici nominati. Si verificarono poscia parecchi dei loro risultati, e le opinioni furono divise intorno alla causa, attribuendola alcuni a minime particelle ferruginose diffuse nelle masse e ritenendo altri che tutti i corpi fossero in minimo grado più o meno magnetici. Si attribuirono in seguito alcuni di quei fenomeni all'induzione di cui si è parlato (§. 1574)

1577 Molti o quasi tutti i corpi assumono, sotto l'azione di poderose calamite, certi movimenti d'indole diversa dall'attrattiva, i quali hanno indotto Faraday a dividere la materia, riguardo alla facoltà magnetica, in due classi: in *corpi paramagnetici* ed in *corpi diamagnetici*. La prima comprende il ferro e tutti i metalli attratti dalla calamita; la seconda il vetro, il legno, il bismuto, l'antimonio, i liquidi ed altri corpi dotati d'una nuova proprietà magnetica intraveduta dall'olandese Brugmann nei due ultimi metalli, indicata più distintamente da Le Baillif, Saigey e Seebeck (1), e definita sotto un nuovo punto di vista da Faraday. Questi in vero la confermò e la illustrò con un gran numero di nuovi fatti, facendone scaturire le leggi fondamentali che regolano una tal classe di fenomeni (2).

Una verga od un cilindro di ferro dolce, posto a combaciamento col polo della calamita, manifesta all'altra parte il polo contrario, ed acquista per tal modo la polarità magnetica, per cui è capace di attrarre egualmente il ferro. Levando il cilindro dall'influenza della calamita, cessa nel ferro ogni proprietà attrattiva e il metallo riprende lo stato normale. Si abbia una verghetta di ferro, p. e. la chiave *a*, sostenuta per l'estremo superiore da vigorosa calamita; essa è capace di reggere dalla parte inferiore la chiave *b*, e questa la terza chiave *c*, e formare così una *catena magnetica* (fig. 487), la quale si può più

(1) Per Le Baillif si vegga il *Bulletin de Ferussac* del 1827, t. vii, pag. 57; e t. viii, pag. 87 e seguenti; in riguardo a Saigey lo stesso *Bulletin* del 1828, t. ix. pag. 89, 167 e 239; e finalmente rispetto a Seebeck gli *Annales de physique et de chimie* fascicolo 6 del 1827 pag 205, ed a Brugmann il §. 41 della sua opera citata.

(2) *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. xxiii, pag. 130; t. xxvi, pag 284. La memoria originale inglese è annunziata nel t. xxiii, pag 497

o meno moltiplicare secondo il vigore della calamita, secondo che il ferro è più o meno dolce, e secondo che le verghe di questo metallo sono più o meno corte Se la calamita è dotata di gran forza, non è necessario il contatto per indurre nel ferro il magnetismo, ma il fenomeno avviene anche a distanza In prova di ciò serve il seguente interessante sperimento: essendo M il polo d'una poderosa calamita, si tenga appesa sopra di esso verticalmente e ad una certa distanza la chiave c, cui poscia si mette a contatto la *b* ed a questa la *a*. Sostenendo *a* per l'estremità superiore, la *b* vi rimane appesa per attrazione, e ad essa sta attaccata la c. La catena magnetica così disposta si può allontanare di 10,15 ed anche più decimetri dal polo M, senza che s'interrompa, vale a dire senza che cessi l'induzione nei diversi pezzi di ferro di cui si compone I corpi paramagnetici hanno dunque la proprietà non solo di essere attratti, ma eziandio di trasformarsi essi medesimi in vere calamite, diportandosi in questo caso egualmente come sotto l'azione delle correnti elettriche, per le quali il ferro acquista pure temporariamente tutte le proprietà magnetiche (§ 1512). I corpi diamagnetici al contrario sono repulsi da ambidue i poli delle calamite e non acquistano sotto la loro influenza la polarità.

1578 Il bismuto e l'antimonio furono, come si disse, i primi metalli, che si scoprirono diamagnetici. Lo strumento, con cui Le Baillif li riconobbe, riesce altresì sensibilissimo all'attrazione dei metalli paramagnetici, e quindi molto proprio a farci accorti delle minime particelle di ferro che si contenessero in parecchi corpi, per cui fu chiamato *sideroscopio* dal vocabolo greco *sideros*, ferro Esso si compone d'un fuscellino di paglia matura di segale o di frumento, della lunghezza di circa 24 centimetri e ben diritto Verso un'estremità tiene infissi, trasversalmente ad angolo retto, due sottili aghi da cucire *n s*, *n' s'* ben magnetizzati coi poli dell'uno rivolti in verso contrario a quelli dell'altro, e nel vano della parte opposta è introdotto per metà un altro ago pure ben magnetizzato (fig. 488). Il fuscellino riposa col suo centro di gravità sopra una staffa di carta, per cui rimane sospeso orizzontalmente ad un filo di bozzolo non ritorto lungo circa 32 centimetri, il quale pende da un gancio d'ottone assicurato alla sommità ad un tubo di vetro verticale. Il tutto è difeso da una custodia a pareti di vetro, sul cui fondo di legno è incollato un arco diviso in gradi e frazioni di gradi, che segnano la deviazione indicata dal braccio più lungo, verso cui è posto l'ago *a b*. Di contro a quest'ago la parete è munita d'apertura circolare, per dove si pre-

sentano le materie da essere poste al cimento, e che si chiude con lastra mobile a corsoio. Il fuscellino d'ordinario riposa sul fondo della custodia, e si dispone per le osservazioni coll'innalzarlo alla conveniente altezza mediante la vite della pinzetta, cui è attaccato il filo di bozzolo. Il braccio, che porta gli aghi $n s$, $n' s'$, non prende veruna direzione pel magnetismo terrestre, essendone distrutta l'azione dalla contrarietà dei poli. L'altro ago $a b$ tende invece a condurre il fuscellino nel meridiano magnetico con una forza dipendente dal grado di calamitazione e dalla sua lunghezza, per cui riesce più o meno grande l'intervallo che vi ha fra esso ed il punto di sospensione. Il fuscellino cogli aghi dello strumento di Le Baillif pesa soltanto grammi 3,4, e in virtù di sì poca massa riesce sensibile a forze le più lievi. Presentati dall'autore al sideroscopio molti corpi, ne ebbe dal maggior numero segni manifesti d'attrazione, mentre il bismuto e l'antimonio gli mostrarono sempre ripulsione.

Lo strumento di cui si serviva Seigey è meglio combinato del descritto. Il fuscello di paglia aveva la lunghezza di 42 centimetri, e portava nel vano dell'asse, dall'una e dall'altra parte, un cilindretto d'acciaio magnetizzato a saturazione e del diametro di 1 millimetro. I poli del medesimo nome dei due cilindri erano rivolti in posizione contraria. La loro differenza di forza conduceva il fuscello nel meridiano magnetico, per cui questa direzione era dovuta al cilindro più vigoroso, trovandosi i loro poli in situazione opposta. Il filo di bozzolo aveva la lunghezza di 30 centimetri, e il tutto si rinchiudeva in una cassetta parallelepipeda a pareti di vetro sormontata dal tubo verticale, dove era custodito il filo di sospensione (1). Seebeck istituiva le sperienze accostando i corpi ai poli di vigorose calamite.

1579 Faraday adoprava calamite temporarie di gran forza ripiegate a ferro di cavallo, di cui la maggiore aveva la verga del diametro poco più di centim. 9,5 e della lunghezza di quasi 87, incurvata in modo da lasciare alle due estremità l'intervallo di circa 15 centim. Metri 159 di filo di rame, grosso poco più di 4 millim. (poll. 0,17) e vestito di fettuccia di cotone, stavano avvolti alle braccia formandone due spirali a tre ordini di giri, di cui ciascuna era della lunghezza di centim. 40,6. La corrente elettrica proveniva da una pila di 10 coppie alla Grove. Due verghette di ferro dolce, grosse

(1) Nell'esperimentare con questi delicati strumenti bisogna aver riguardo ai cambiamenti di temperatura, che influiscono sulle indicazioni, come dagli Annali [illegible], 2ª serie, t. IV, pag. 293.

centim. 6 $^1/_3$ e lunghe circa 18 si potevano mettere aderenti ai capi della calamita temporaria per diminuirne a piacimento l'intervallo, e ne formavano le armature. I corpi si collocavano orizzontalmente sopra una staffa di rame o di carta appesa a fili di seta o ad un lungo e sottile filo d'argento, che veniva raccomandato ad un congegno con cui si portavano in differenti posizioni fra i poli della calamita. Un tubo di vetro verticale difendeva la parte mobile del sistema dalle agitazioni dell'aria. Avanti di procedere alle sperienze, Faraday s'accertava che, tanto i mezzi di sospensione quanto i corpi da essere cimentati, non manifestavano azioni magnetiche in causa di particelle di ferro che tenessero frammiste, avendo infatti trovato che alcune specie di carta, di ceralacca, di sovero, di gommalacca, d'inchiostro della Cina, di vetri colorati, di porcellana di gomma del baco di seta, di tormalina, di piombagine e di carbone, erano sensibilmente attratte da quelle poderose calamite o in tutta la loro massa o in certi punti particolari.

Egli chiama *linea assiale* o di *forza magnetica* la retta condotta dall'uno all'altro polo della calamita, e *linea equatoriale* la normale guidata pel centro della prima. Il *campo magnetico* o della calamita poi è lo spazio attorno e fra i poli della medesima ove dominano ed agiscono le forze con intensità differenti e in diverse direzioni.

Un parallelepipedo di *boro silicato di piombo* o vetro pesante, grosso millimet. 12,7 (poll. 0,5) e lungo 50, 8 (poll. 2), si sospese tra i due poli della calamita ancora inattiva col suo centro di sospensione corrispondente all'intersezione delle linee assiale ed equatoriale, e si abbandonò a se medesimo per lasciargli prendere la posizione voluta dalla forza di torcimento del filo. Posta in azione la calamita coll'introdurre la corrente nel filo, il parallelepipedo fu mosso e dopo alcune oscillazioni prese la posizione dell'equatoriale; e se ne veniva allontanato vi ritornava. Allo scopo di decidere se il corpo con una o coll'altra delle sue estremità avesse qualche tendenza a destra od a sinistra della linea di forza magnetica, Faraday lo capovolse e trovò che esso oscillava come prima per dirigersi nell'equatoriale. Alternando posizione ai poli coll'invertere la corrente, il parallelepipedo rimase in quiete nell'equatoriale. Si dispose il solido vitreo sulla precisa direzione della linea assiale, e poscia si mise in azione la calamita: in tal caso non concepì verun movimento, ma alla minima deviazione era condotto nell'equatoriale. Si scorge quindi che,

in questa posizione, l'equilibrio è stabile, mentre nell'altra esso è instabile. Se il filo di sospensione non passa ad eguale distanza dai poli, il parallelepipedo si dirige pure normalmente alla linea assiale e si discosta in pari tempo dal polo cui si trova più vicino rimovendo il filo dalla verticale, cui ritorna tosto colla cessazione della corrente. Il fenomeno avviene indistintamente in vicinanza tanto dell'uno quanto dell'altro polo. Infine si dispose il filo di sospensione sull'equatoriale alquanto fuori del centro: all'atto che si attiva la calamita, il parallelepipedo fugge maggiormente la linea di forza magnetica, e ricade nella primitiva posizione al cessare l'azione della calamita.

Volendo studiare il solo spostamento laterale riesce più comodo di servirsi dei corpi sotto forma di cubo o di sfera. Faraday sospese alquanto fra loro distanti due cubi dello stesso vetro pesante sulla linea assiale: essi vennero respinti dai poli e si accostarono l'uno all'altro come se mutuamente si attraessero. Un sol cubo, situato sull'equatoriale ad una certa distanza dal centro, se ne discosta ancor più fuggendo la linea assiale senza uscire dalla prima linea. I movimenti del parallelepipedo e del cubo accadono eziandio sotto l'azione d'un solo polo della calamita quantunque più debolmente.

Si scorge in ogni caso che il corpo è respinto da tutte le linee di forza magnetica, nella stessa maniera che succede del pendolino in presenza di corpi omologamente elettrizzati. Nel caso del parallelepipedo disposto col suo centro nel punto d'intersezione delle due linee, la massa è sollecitata da forze ripulsive opposte ed eguali nella direzione equatoriale, la quale riesce la *linea di minima ripulsione*. In generale le particelle libere del vetro pesante sotto l'azione d'una o più calamite temporarie si recano costantemente sulle linee che segnano la *posizione di minore forza magnetica*. Siffatte linee sono dette da Faraday *curve diamagnetiche* onde distinguerle dalle *curve paramagnetiche* indicate dalla limatura del ferro ed altri corpi consimili intorno ai poli delle calamite (§ 1506). I fenomeni avvengono eziandio con vigorose calamite permanenti a ferro di cavallo, ma con minor energia in proporzione della minore forza di cui sono ordinariamente dotate in confronto di quella che si può dare alle calamite temporarie. Si ottengono altresì sospendendo il corpo nell'acqua, nell'alcoole, nell'etere ed altri liquidi contenuti in vasi di vetro, di pietra, di legno o di metalli.

Il magnetismo dunque esercita sul vetro pesante una *ripulsione*

verghetta dall'equatoriale per accostarsi alla linea assiale è evidentemente dovuta al magnetismo indotto nel rame (§. 1574), giacchè il bismuto non ne offre verun indizio in causa della sua cattiva conducibilità per l'elettrico, come pure il vetro pesante per la sua coibenza

1582. Gli ossidi dei metalli paramagnetici sono più o meno attratti dalla calamita, come le loro miniere (§. 1576). Faraday ha esaminato il magnetismo di diverse combinazioni di ferro, ed ha trovato paramagnetiche tutte quelle ove il metallo entra come base. I *cloruri*, gl'*ioduri*, i *solfati*, i *fosfati*, i *nitrati*, i *carbonati* e gl'*idrocianuri di ferro* furono riscontrati in particolar modo paramagnetici. Fra i prodotti naturali egli trovò paramagnetici principalmente il *ferro ossidulato*, l'*ematite*, il *cromato di ferro*, la *pirite marziale* e quelle *d'arsenico* e di *rame* ed alcuni altri *solfuri ferruginosi*. I cristalli purissimi di *solfato di nicolo e di cobalto* ed i *cloruri* degli stessi metalli sono pure paramagnetici. Se il ferro, il nicolo ed il cobalto conservano nelle loro combinazioni una parte della propria virtù magnetica, l'analogia c'induce a credere che lo stesso debba succedere degli altri metalli, che possedessero la medesima proprietà Siccome le prove tentate su questi corpi isolati rimasero dubbie pel sospetto che contenessero qualche particella ferruginosa, non potendosi l' incertezza sostenersi per gli ossidi e principalmente pei sali cristallizzati, così Faraday si pose ad indagare l'indole magnetica dei metalli mediante le loro combinazioni.

Egli pose al cimento l'ossido di *titanio*; gli ossidi e segnatamente il protossido, il cloruro, il solfato, l'ammonio solfato, il fosfato, il borato e il carbonato di *manganese*; il protossido idrato, il cloruro e il carbonato di *cerio*, più il doppio solfato di potassa o dell'ossido di quel metallo, l'ossido cristallizzato di *cromo* e l'acido cromico Tutti questi composti si diressero sulla linea assiale, donde Faraday inferisce che il *titanio*, il *manganese*, il *cerio*, e il *cromo* sono paramagnetici e forse il manganese più di tutti a bassa temperatura. Esperienze analoghe lo indussero ad ammettere nella stessa categoria il *platino*, il *palladio* e probabilmente anche l'*osmio*.

L'*arsenico*, l'*iridio*, il *rodio*, l'*uranio*, il *tunsteno*, l'*argento*, l'*antimonio*, il *bismuto*, il *sodio*, il *magnesio*, il *calcio*, lo *stronzio*, il *bario* ed il *potassio*, studiati nello stesso modo, si mostrarono invece tutti diamagnetici. Imperocchè le loro combinazioni, al pari dei metalli puri ridotti a forma prismatica, si diressero tutti secondo l'equatoriale e vennero respinte quando si avvicinavano ad uno dei poli.

Dal complesso di questi fatti Faraday deduce la seguente scala magnetica dei metalli (1):

Paramagnetici. — *Ferro, nicolo, cobalto, manganese, cromo, cerio, titanio, palladio, platino, osmio.*

Diamagnetici. — *Bismuto, antimonio, zinco, stagno, cadmio, sodio, mercurio, piombo, argento, rame, oro, arsenico, uranio, rodio, iridio, tunsteno.* —

1583. Le soluzioni dei sali di ferro, come pure quelle dei solfati di nicolo e di cobalto, e dei cloruri di questi metalli, sono pure magnetiche e somministrano *calamite liquide e diafane suscettive, entro certi limiti, di assumere diversi gradi d'energia, che si possono calcolare e graduare esattamente*, per cui riescono di grande aiuto nelle indagini intorno al magnetismo. Faraday formò una soluzione di cristalli idrati di protosolfato di ferro, la quale conteneva 74 parti in peso di questo sale per ogni 480 d'acqua. Ne versò l'eguale quantità in tre vasi separati: lasciò la prima nel suo stato, aggiunse alla seconda tre volumi d'acqua ed alla terza quindici. Siccome le proporzioni di solfato di ferro delle tre soluzioni stanno prossimamente come 16 : 4 : 1, così questi numeri si possono considerare i rappresentanti delle forze magnetiche dei tre liquidi, che designeremo con *a, b, c*.

Tubi di vetro, pieni dell'una o dell'altra soluzione e sospesi orizzontalmente nel campo magnetico della calamita temporaria, si diressero nella linea dei poli più o meno vigorosamente a norma della densità del liquido. Sommersi nell'acqua pura o nell'alcoole essi si disposero del pari nella linea assiale, e facendoli pescare nelle soluzioni ferruginose presentarono fenomeni curiosi ed interessanti. Il tubo *a* della soluzione più densa, posto dentro altra soluzione eguale, perde la forza direttrice; nelle due soluzioni *b*, *c* meno dense si dirige sulla linea dei poli, e più energicamente nella *c* che nella *b*. Il tubo *b* sommerso nella soluzione *a* è respinto e passa nell'equatoriale al pari del vetro pesante, del bismuto e dei corpi diamagnetici; nella soluzione *b* risulta inerte e nella *c* si rivolge nella linea assiale. Finalmente il tubo, pieno della soluzione *c*, si dispone secondo l'equatoriale nelle soluzioni *a*, *b*, e rimane inerte nella terza *c*. Importerebbe di esaminare se accade lo stesso d'un corpo diamagnetico immerso in fluidi più o meno diamagnetici. Ma prima bisognerebbe

(1) L'illustre fisico da queste numerose sperienze è stato condotto a conseguenze differenti dalle opinioni emesse in altro suo lavoro (*Annali* suddetti, t. xx, p. 107).

determinare la linea che separa le due classi di corpi, o come dice Faraday *il vero zero delle forze magnetiche* o il corpo che, non provando nel vuoto veruna azione dalle calamite, stabilisca il passaggio dai corpi paramagnetici ai diamagnetici, imperocchè l'ossigeno e l'aria comune, di cui fa parte, sono, come vedremo, materie paramagnetiche. Faraday, sperimentando con altre soluzioni ferruginose, verificò somiglianti fenomeni, dai quali dedusse il principio generale che *un corpo magnetico si dirige nella linea assiale immerso in liquido di minore densità magnetica, è indifferente nel liquido d'eguale densità ed assume la posizione equatoriale nel liquido di maggiore densità*. Si osservi eziandio che i tubi pieni delle nominate soluzioni, sospesi verticalmente a canto ad uno dei poli della calamita, manifestavano constantemente l'attrazione nel liquido dotato di minor densità magnetica, l'indifferenza in quello egualmente magnetico e la ripulsione nell'altro maggiormente magnetico, come nel caso del cubo di vetro pesante (§ 1570) e di bismuto.

Riflettendo a queste mirabili sperienze di Faraday, non si può a meno di restar colpiti dall'*analogia che si ravvisa fra la forza magnetica e quella di gravità*. Sappiamo infatti che un grave, secondo il principio d'Archimede, cade al fondo del vaso verso il centro della terra, immerso in un fluido di minore densità, è spinto all'insù in direzione contraria alla gravità trovandosi circondato da un fluido di maggior densità, ed ha perduto tutta la sua gravità, rimanendo in quiete a qualunque profondità, quando il fluido circostante è egualmente denso (§ 518). In modo analogo si diporta la forza magnetica: il corpo vien attratto se è dotato di maggiore *magnetismo specifico* del liquido dove sta immerso, è respinto dalla forza della calamita se ha minor magnetismo, e rimane inerte se ha magnetismo eguale.

1584. I nuovi fenomeni furono ripetuti ovunque si coltivano i buoni studi e riconosciuti dal maggior numero dei fisici. I due Becquerel però, padre e figlio, non approvarono la necessità d'introdurre nella scienza la distinzione di corpi diamagnetici, pretendendo che i fenomeni si spiegassero coll'analisi delle forze agenti nel campo magnetico e che la direzione longitudinale, trasversale ed obliqua, presa dai corpi, fosse soltanto l'effetto della risultante delle forze magnetiche secondo la forma e il grado di magnetismo dei corpi medesimi. Ma i risultati sono così differenti nei due casi e così ben definiti riescono gli effetti nelle diverse circostanze, che per ora siamo costretti a distinguere con diversi nomi le due specie di fenomeni.

D'altronde Faraday ritornò sull'argomento con altro scritto (1), nel quale venne a confermare con nuove sperienze le sue prime deduzioni. Esaminando l'azione delle calamite sul perossido di ferro, che Becquerel ha particolarmente studiato e cita in prova della sua opinione, il fisico inglese ha bensì osservato che quel corpo si mette in posizioni diverse nel campo magnetico, ma ha altresì riconosciuto che, come massa, esso ne è sempre attratto al pari degli altri corpi paramagnetici. D'altronde, quando un tubo di vetro pieno di perossido di ferro è diretto trasversalmente alla linea dei poli, ha la posizione d'equilibrio instabile, e per poco si rimuova è attratto nella linea dei poli. La posizione trasversale invece pei corpi diamagnetici è d'equilibrio stabile, e se ne sono allontanati vi ritornano con una serie d'oscillazioni, essendo il centro di gravità della loro massa costantemente *repulso* e non *attratto* dalla calamita. La cagione delle direzioni più o meno oblique del perossido di ferro intorno alla linea assiale deriva evidentemente dallo stato di differente disgregazione delle sue particelle. Infatti il tubo pieno di protosolfato di ferro, sciolto uniformemente nell'acqua e diluito ben anche in modo da essere meno paramagnetico del perossido, si dirige sempre assialmente. Lo stesso succede delle soluzioni dei sali di nicolo, di cobalto, di platino ecc. le quali si dirigono tutte come il ferro e non come il perossido. D'altronde un cilindretto formato di alcuni pezzettini di ferro impastati con cera, si dirige obliquamente e talora anche normalmente alla linea assiale. Quei sali ed ossidi di metalli paramagnetici sotto forma di polvere secca posti in cannoncini di cartone o in sottili tubi di vetro, offrono nella stessa maniera l'anomalia riscontrata da Becquerel. È appunto per tale ragione che l'idrato di protossido di nicolo si mostra di più del quadruplo magnetico dello stesso protossido allo stato secco, senza per altro supporre con Plücker che l'acqua d'idratazione in sè medesima abbia la facoltà di rinvigorire il magnetismo.

Confermando con diverse sperienze la nuova distinzione di Faraday, determinava Plücker eziandio l'intensità magnetica delle due classi di corpi, di cui riferiamo i risultati di alcuni dei diamagnetici (2)

	Peso eguale		Volume eguale
Acqua	100	—	100
Alcoole p. s. 0, 813.	93	—	114
Etere solforico	93	—	127

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVI, pag. 231.

(2) *Annalen der Physik* ecc. di Poggendorff, t. LXXIV, pag. 321 1848

	Peso eguale		Volume eguale
Solfuro di carbonio . . .	129	—	102
Acido solforico	64	—	34
Acido cloridrico	114	—	102
Acido nitrico . . .	71	—	48
Essenza di trementina .	107	—	125
Mercurio	314	—	23
Fosforo . .	172	—	100

1385. In una lettera diretta a Faraday, Plucker annunziava d'aver scoperto una relazione fra gli assi ottici dei cristalli e il magnetismo (1). Si sa che i cristalli bifrangenti sono ad asse ottico positivo o ad asse negativo (§. 833), e che alcuni sono forniti di due assi ottici (§. 834). Ora alcune sperienze avevano condotto Plucker ad ammettere che tutti i cristalli bifrangenti, meno quelli spettanti al sistema cubico, fossero attratti dai poli della calamita secondo il loro asse ottico se sono positivi, e respinti secondo l'asse ottico se sono negativi; vale a dire che nel primo caso l'asse ottico doveva essere diretto sulla linea assiale e nel secondo sull'equatoriale. Nei cristalli a due assi la direzione magnetica sarebbe determinata dalla linea che biseca gli angoli acuti formati dagli assi medesimi.

Questo nesso fra la struttura ottica dei cristalli e la loro proprietà diamagnetica era di tale importanza che, avanti d'essere ammesso nei dogmi della scienza, richiedeva d'essere verificato con altre sperienze. Due fisici di Berlino, Tyndall e Knoblauch, lo sottoposero alla prova (2). Si procacciarono diversi pezzi di spato islandico, il quale è un cristallo bifrangente negativo ad un solo asse, e ne tagliarono parallelamente all'asse ottico parecchie lamine in direzioni più o meno oblique alle facce laterali, riducendole poscia alla forma di dischi. Siffatti dischi, sospesi nel campo magnetico, presentavano la stessa quantità di materia nei loro diametri diretti verso le linee assiale, equatoriale e le posizioni intermedie, per cui erano compiutamente sottratti agli effetti dinamici delle forze magnetiche, mentre contenevano d'altra parte la linea che doveva sempre essere respinta. Le condizioni per verificare la legge annunziata da Plucker erano quindi tutte adempiute. A malgrado di ciò Tyndall e Knoblauch rinvennero

(1) *Philosophical Magazine* ecc. fascicolo di giugno 1849.

(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. 101, pag. 250.

che, di undici dischi, cinque si disposero col loro asse ottico equatorialmente, e gli altri sei si condussero assialmente. I dischi furono poscia separatamente ridotti in polvere, bagnati ed impastati con acqua distillata, e foggiati in altrettanti prismi e disseccati. In questo stato di opacità e di coesione plastica, il carbonato calcare di quei cristalli non poteva essere più soggetto alle forze direttrici degli assi ottici, rimanendo esposto alla sola azione magnetica. I prismi formati coi primi cinque dischi presero la direzione equatoriale e gli altri sei quella assiale. I prismi furono assoggettati in posizione verticale alla forza d'uno dei poli della calamita più energica, e si rinvenne che quelli assiali ne erano attratti e gli equatoriali repulsi. Si ebbero eguali risultati sperimentando con diverse verghette diafane e naturali di spato islandico, tratte dai medesimi cristalli che formarono i dischi, e tagliate longitudinalmente al loro asse ottico. Infine le due classi di cristalli furono sottoposte all'analisi chimica; e in quelli attratti si trovò una certa dose di protossido di ferro, che non si riscontrò negli altri repulsi. Questi sperimenti bastano a provare che la direzione di quei cristalli nel campo della calamita dipende dalla loro qualità magnetica, e la struttura positiva o negativa del loro asse ottico è del tutto estranea ai fenomeni.

I fenomeni annunziati da Plucker determinarono d'altra parte Faraday ad intraprendere nuove sperienze sul bismuto, affine di scoprire la causa di alcune irregolarità riscontrate nelle sue prime indagini. In tale occasione rinvenne che lo stato cristallino del bismuto, come pure dell'antimonio e dell'arsenico, aveva qualche influenza sulla posizione, che questi corpi prendono nel campo magnetico (1). L'influenza però si riduce ad una forza direttrice e non ripulsiva nè attrattiva. L'illustre fisico inglese ha creduto di distinguere tale disposizione col nome d'*equilibrio diametrale*, chiamando *magneto-cristallina* la forza da cui è prodotto, ed *asse magne-cristallico* la linea secondo cui è regolata la posizione nel campo magnetico. Risulta dalle sue indagini che il metallo è meno diamagnetico quando il suo asse magne-cristallico è perpendicolare, di quando è parallelo alla linea assiale del campo dove è posto. I cristalli di spato islandico non offersero differenza sensibile nel loro equilibrio magnetico. Una tale proprietà riscontrata distinta nei cristalli dei metalli o dei buoni conduttori, mentre manca in quelli delle materie coibenti,

(1) *Annali di fisica ecc.* più volte citati 2ª serie, t. III pag. 219 e *Bibliothèque universelle* t. XII pag. 89 1849 e t. XVI pag. 152 1851

non appartiene alla categoria dei fenomeni di cui qui è discorso, ma sembra dipendere piuttosto dall'induzione magneto-elettrica altrove considerata (§ 1574), come opinerebbe anche Melloni (1). Si sa in fatti che, dalle sperienze di Senarmont e di Wiedemann, il calorico di contatto e l'elettrico si propagano meglio parallelamente o normalmente agli assi ottici che in ogni altra direzione.

1586. I solidi ed i liquidi risentono dunque l'azione delle calamite, mostrandosi alcuni paramagnetici, e molti altri diamagnetici. Dovevasi credere che anche gli aeriformi sarebbero forniti dell'una o dell'altra proprietà. Faraday, nelle sue prime indagini, si affaticò indarno e non ebbe veruno indizio di magnetismo dai gas (2), posti alla prova dentro sottilissimi tubi di vetro come fece coi liquidi (§ 1580), oppure osservando nel vuoto e in diversi fluidi le oscillazioni di corpi magnetici sotto l'azione della calamita, per iscoprire se accadeva qualche modificazione secondo il principio stabilito (§ 1583). Ebbe eziandio risultati negativi operando coi vapori di parecchi liquidi.

Alla poca massa in proporzione del volume si attribuiva a ragione il niun effetto magnetico dei fluidi aeriformi. Perciò Faraday aveva in pensiero di metterli a cimento allo stato di condensazione, quando il prof. Bancalari di Genova lesse al nono Congresso scientifico italiano, radunato a Venezia nel settembre del 1847, uno scritto, nel quale riportava alcune sue sperienze dirette a provare che anche i fluidi aeriformi risentono l'azione delle calamite (3). Una *bolla d'aria*, galleggiante sopra un liquido contenuto in tubo di vetro, veniva collocata nel campo d'una vigorosa calamita; al momento che s'ingenerava il magnetismo, la bolla accorreva nel mezzo dell'intervallo dei poli. La *fiamma*, che è un fluido aeriforme in ignizione, fu posta al cimento nell'intervallo di due verghe di ferro aderenti ai poli, ed all'atto dell'attivazione della calamita era depressa diminuendo in altezza ed aumentando in larghezza, nello stesso tempo che diventava più splendente. Il *fumo* provò effetti consimili sotto l'azione della calamita e ne era repulso. Egli sottopose più tardi alla stessa azione i *vapori dell'acqua e dell'alcoole*, i quali furono repulsi dai poli (4).

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. [illegible], pag. 49.

(2) *Annali* suddetti, 4ª serie, t. xxiii, pag. 417.

(3) Gli stessi *Annali*, t. xxvi, pag. 112 e 114 e t. xxix, pag. [illegible].

(4) Si vegga la lettera dell'autore in data 5 novembre 1847, inserita nella *Corrispondenza scientifica* di Roma dello stesso mese, pag. 81.

I fatti precedenti furono comunicati al Congresso italiano di Venezia nell'adunanza del 21 settembre di quell'anno, e discussi nella successiva del 22, di cui la Commissione apposita fece il rapporto, che si stampò nel *Diario* del Congresso. Si provò generalmente una certa indegnazione quando si seppe la *pirateria scientifica* commessa da un certo professore che li ristampò circa un mese più tardi in altra città d'Italia e li descrisse con diverse parole sotto il suo nome, trasmettendoli ad un giornale di Londra ed a Faraday per farli credere come merce di sua proprietà. Il furto fu tosto palese e conosciuto anche all'estero. L'illustre inglese, al giungergli la notizia, si diede tosto a verificarne il fatto fondamentale (1), e trovò che la *fiamma* della candela, introdotta nel campo magnetico della sua poderosa calamita (§. 1579), inclinavasi fuggendo il polo più vicino quand'era eccentrica, conservava la direzione verticale, venendo depressa ed accorciata quando si trovava nel centro del campo. Ravvicinando gradatamente le armature, la depressione e l'accorciamento della fiamma diventavano vieppiù considerabili e la luce di maggior intensità, come se due correnti d'aria affluissero nella direzione della linea assiale. Innalzandola sino ad una certa altezza, la fiamma veniva ripartita e gettata divisa nella direzione normale alla linea dei poli, mostrandosi più vivida e brillante nel sito della biforcatura. I fenomeni succedevano egualmente colle fiamme del sego, della cera, dell'olio, dell'alcoole, dell'idrogeno puro e carburato, del fosforo, della canfora ecc. La fiamma in generale si rendeva più splendente coll'accrescere il vigore della calamita. Il *fumo*, prodotto dalla combustione di pallottole di carta imbevute di soluzione ammoniacale o di acido cloridrico, venne respinto da ambidue i poli, al pari di quello d'una candela appena spenta. La ripulsione del fumo produce pure in certa posizione il biforcamento come la fiamma.

Si prenderà un'idea più precisa dei fenomeni annunziati, esaminandoli in uno esperimento particolare, in cui furono ottenuti con una vigorosa calamita. I poli avevano l'intervallo di millim. 3,5, ed una candela di sego accesa giaceva nel mezzo del campo magnetico, abbruciando senza fumo, in modo che i margini superiori dei poli corrispondevano ai 7/8 dell'altezza della fiamma presa dalla sua origine. Posta in azione la calamita, la fiamma nella se-

(1) Si vegga il giudizioso estratto di Melloni nel *Rendiconto* della R. Accademia delle scienze di Napoli, t. VII pag. 172 del 1848

zione equatoriale prese la forma *e* e nell'assiale la *a* (fig. 489). Allorquando la fiamma s'innalzò in guisa che i margini superiori dei poli corrispondevano alla metà della sua altezza d'origine, essa prese nella linea equatoriale la forma *e* e nell'assiale la *a* (fig. 490). Finalmente la candela fu ancor più innalzata corrispondendo la sommità dello stoppino alla medesima altezza dei margini superiori dei poli e la fiamma, raffreddata dal metallo dei poli, non presentava più la stessa vivacità al momento dell'attivazione della calamita, non solo riacquistò il primitivo splendore, ma diventò più vivace, venne depressa e bipartita prendendo nella divisione equatoriale la forma *e* e nell'assiale la *a* (fig. 491). La bipartizione della colonna di fumo si è ottenuta collocando la candela di sego, da cui emanava, in modo che i margini dei poli si trovavano ai 3/4 dell'altezza della fiamma dal suo punto d'origine, e dal momento dell'attivazione della calamita, il fumo prese nella sezione equatoriale la forma rappresentata nella fig. 492.

Allo scopo di riconoscere i movimenti dell'*aria* sotto l'azione della calamita, Faraday portava all'incandescenza una spirale di platino disposta orizzontalmente al di sotto della linea dei poli e nello stesso piano verticale. Un termometro assai sensibile era collocato nel piano suddetto e due altri eguali a destra ed a sinistra della spirale, in guisa che la linea di congiunzione riusciva normale al suo asse. Essendo la calamita inattiva, la corrente d'aria, dilatata dal calore della spirale, innalzavasi verticalmente investendo il termometro centrale, che segnava maggior numero di gradi degli altri due. Mettendo in azione la calamita, la corrente d'*aria calda* veniva repulsa dai poli e diretta sui termometri laterali, i quali prendevano una temperatura maggiore del centrale. I poli della calamita respingevano dunque l'aria calda dalla linea assiale, dove veniva attratta quella non riscaldata, per cui la prima riusciva diamagnetica rispetto alla seconda. Esperimentò nella stessa guisa con diversi gas, ascendenti fra i poli della calamita, e rinvenne che, circondati d'aria atmosferica, si manifestarono più o meno diamagnetici l'*azoto*, l'*idrogeno*, l'*acido carbonico*, l'*ossido di carbonio*, il *protossido d'azoto*, l'*idrogeno carburato e bicarburato*, gli *acidi solforoso, cloridrico, idroiodico, fluosilico*, l'*ammoniaca*, il *cloro*, il *cianogeno*, i *vapori d'iodio e di bromo*. L'*ossigeno* al contrario si manifestò distintamente paramagnetico. I fluidi maggiormente diamagnetici furono l'*idrogeno*, e il *gas illuminante*, che è idrogeno carburato mentre l'*azoto* ne diede segni debolissimi.

Secondo il principio verificatosi pei liquidi (§. 1583), la facoltà magnetica dei fluidi aeriformi deve subire delle variazioni in ambienti diversi, ed è perciò che Faraday istituì delle indagini in atmosfere artificiali. Adattava a tal uopo nell'intervallo dei poli un recipiente, mantenuto pieno di qualche fluido, dove introduceva successivamente getti di diversi gas rinnovando ogni volta l'atmosfera artificiale, e li osservava rendendoli visibili colla reazione di vapori ammoniacali. Operando in tal guisa nell'acido carbonico, trovò che l'*ossigeno*, l'*aria comune* e il *biossido d'azoto* si manifestavano paramagnetici, mentre l'*azoto*, l'*idrogeno puro*, *protocarburato e bicarburato*, l'*acido cloridrico* e l'*ammoniaca* erano diamagnetici. Nell'atmosfera d'idrogeno carburato risultarono paramagnetici l'*ossigeno*, l'*aria* e in minimo grado l'*azoto*, ed al contrario diamagnetici l'*ossido di carbonio*, l'*acido carbonico* e gli altri gas. Nell'atmosfera di puro idrogeno si mostrarono paramagnetici l'*ossigeno*, l'*aria* e il *biossido d'azoto*, e molto più il primo degli altri due gas; mentre il *protossido d'azoto* e gli altri gas risultarono diamagnetici. Plücker ha trovato pure eminentemente paramagnetico l'*ossigeno* e il *biossido d'azoto*, ed anche l'*acido azotoso e l'ipoazotico* (1). Prendendo per unità la forza magnetica dell'ossigeno, quella del biossido d'azoto sarebbe espressa da 0,476 a peso eguale, ed a volume eguale da 0,456; il potere dell'acido azotoso nel primo caso da 0,226 e nel secondo da 0,349. Becquerel Edmondo verificò il gran potere paramagnetico dell'ossigeno (2), di cui impregnò dei piccoli cilindretti di carbone, che l'assorbe e lo condensa nei suoi pori. In tal modo giunse a far prevalere la forza dell'ossigeno su quella antagonista del carbone, ed i cilindretti, sotto l'azione di poderosa calamita temporaria ed anche d'una permanente di minor forza, si diressero nella linea assiale, mentre prima si portavano nell'equatoriale. Il protossido d'azoto e l'acido carbonico, che si condensano ancor più nel carbone, diedero ai cilindretti maggior tendenza a dirigersi nell'equatoriale. La forza paramagnetica dell'ossigeno sarebbe, a peso eguale, equivalente a 2,5 di quella della soluzione concentrata di protocloruro di ferro. Becquerel in altro scritto come pure Plücker hanno valutato la forza paramagnetica dell'ossigeno in confronto del ferro a peso eguale (3). secondo il primo sarebbe espressa da

(1) *Annales de chimie et de physique* t. xxxiv, pag. 343 del 1852

(2) *Bibliothèque universelle* di Ginevra, t. 31, pag. 210 del 1849

(3) *Comptes rendus* dell'Accademia di Francia del 12 agosto 1850, e riguardo a Plücker si veggano gli *Annales* succitati, t. xxxiv, pag. 344

0,000377 ed il triplo di quella del percloruro di ferro nelle stesse circostanze, e secondo Plucker da 0,0035, valore quasi dieci volte maggiore del precedente, ma che poco differisce da quello che gli vien dato da Faraday.

Nuovi studi furono fatti da Faraday sui fluidi aeriformi, che racchiudeva in bolle di sapone e poscia in ispecie d'ampolle di vetro molto lunghe ed a pareti sottilissime (1). Assicurò due di queste ampolle all'estremità del fusto orizzontale mobilissimo della bilancia di torsione, ed ottenne in tal modo un apparecchio differenziale per operare ad un tempo sopra due fluidi. Disponeva le ampolle simmetricamente dai due lati dell'asse magnetico per confrontarne gli effetti che provano sotto l'azione della calamita a differenti pressioni e temperature. Sperienze in tal modo istituite hanno dimostrato che la facoltà magnetica dell'ossigeno diminuisce bensì collo scemamento della densità, ma rimane ancora considerabile sotto grandi rarefazioni. L'azoto, in queste sperienze, gli è sembrato nè paramagnetico nè diamagnetico, e sarebbe equivalente per conseguenza allo spazio vuoto assoluto. Se in un dato spazio si introduce dell'ossigeno e dell'azoto, esso diventa sempre più paramagnetico a misura che s'aggiunge dell'ossigeno, mentre l'aggiunta dell'azoto non produce verun effetto. Di due masse dello stesso gas, a volumi eguali ed a densità ineguali, la più densa si avvicina al centro delle forze magnetiche come succede dell'ossigeno, e sembra che, nel caso di gas diamagnetico, la massa meno densa dovrebbe avvicinarsi al centro d'azione. Sinora non ha trovato verun gas che possegga la proprietà diamagnetica al grado in cui l'ossigeno possiede la paramagnetica, e cita soltanto il cianogeno e il gas oliofacente, che tendono ad avvicinarsi ai centri delle forze magnetiche a misura che sono più rarefatti. Corpi fortemente ed indubbiamente diamagnetici si rinvengono nei solidi e producono degli effetti comparabili a quelli dell'ossigeno per l'azione contraria, tali sono il vetro flinto ed il fosforo. È per ciò che riesce difficile a manifestarsi il diamagnetismo del cianogeno, del gas oliofacente e di altri fluidi rinchiusi in capacità di vetro.

1587. Qual'è la causa per cui le calamite producono due effetti così contrari sulle diverse materie? Come avviene che sotto la loro azione alcuni corpi acquistano la polarità magnetica venendo al

(1) *Annuario precedente*, t. xxxiv, pag. 247 del 1852, e *Bibliothèque universelle* t. xvi, pag. 52 del 1851.

tratti, mentre parecchi altri non manifestano una tale polarità essendone respinti? È difficile rispondere a queste domande nello stato attuale della scienza, e soltanto nuovi fatti possono illuminarci nell'oscurità in cui siamo. Faraday ha recentemente discusso sull'origine di quei fenomeni (1), e ritiene probabile che la forza diamagnetica partecipi della natura di quella dipendente dalle correnti elettriche; soggiunge però che dovrebbe diffondersi sotto forma di raggi a somiglianza della luce e del calorico. Reich, Plücker e Weber credettero d'aver dimostrato la polarità diamagnetica contraria a quella che si manifesta nei corpi paramagnetici, come aveva in origine congetturato Faraday, ma questo fisico dimostra la fallacia delle sperienze o dei ragionamenti con cui furono condotti a quella conseguenza.

In alcune sue indagini sulla polarità, inserite nelle *Transazioni filosofiche* del 1850 (2), Faraday osserva che non si verifica la sperienza di Reich, secondo il quale un pezzo di bismuto, collocato equatorialmente nel campo della calamita, diverrebbe capace d'agire sull'ago magnetizzato sospeso liberamente vicino a quel corpo, e in maniera opposta a quella con cui agirebbe un pezzo di ferro collocato nelle medesime circostanze. Plücker poi ha posto nel campo magnetico una verghetta di bismuto o di fosforo, osservando con qual forza prendeva la direzione equatoriale. Collocò poscia una verga di ferro nella medesima direzione equatoriale, un poco al di sotto del piano dove si moveva quella diamagnetica, e rinvenne che questa si getta sull'equatoriale con maggior forza di prima. Plücker ne attribuisce l'effetto all'attrazione dei poli della verga di ferro sotto l'influenza dell'elettro-magnete con quelli contrari del bismuto sotto la medesima influenza. Analizzandone gli effetti, Faraday considera la maggior tendenza nel secondo caso come il risultato dell'alterazione in intensità e direzione delle forze dal campo magnetico prodotta dalla presenza del ferro. Infatti questo metallo tende ad aumentare considerabilmente la forza dei poli della calamita e ad accrescere in corrispondenza l'effetto della repulsione del bismuto dalla linea assiale. D'altronde la forza nella direzione equatoriale è di molto diminuita in virtù della presenza del ferro, che attrae a sè e ne neutralizza ed assorbe una porzione. In quanto alle sperienze di Weber, Faraday dimostra in diverse ma-

(1) *Philosophical Magazine*, fascicolo di gennaro 1852, e *Bibliothèque universelle*, t. XIX, pag. 54 del 1852.

(2) *Bibliothèque universelle*, [illegible] t. XVI, pag. 61 del 1851.

niere che le correnti nell'elica, avvolta al corpo diamagnetico, nascono in virtù dell'induzione magneto elettrica prodotta sul metallo dai poli della calamita (§ 1571) e non dalla forza diamagnetica del metallo medesimo. Infatti si trova che nei migliori conduttori, rame ed argento, riesce massimo l'effetto, il quale si mostra minore nel piombo, nello stagno e nel platino, e nullo nel bismuto, nell'antimonio e nel fosforo. Per conseguenza le correnti nell'elica non seguono la ragione del potere diamagnetico, ma della conducibilità per l'elettrico. Si osservi altresì che un fascio di fili sottilissimi di rame, mentre si mostra diamagnetico sotto l'azione della calamita, non da verun indizio d'induzione in causa dell'interruzione di continuità delle parti di cui si compone, che impedisce in esso lo sviluppo delle correnti. Al contrario un fascio di fili eguali di ferro da nascimento, nell'elica da cui è circondato, a correnti di maggior energia del ferro in massa, perchè il corpo è paramagnetico, e la disgregazione dei fili impedisce le correnti elettriche nel metallo contrarie a quelle del magnetismo. Verdet giunse contemporaneamente alle stesse conseguenze con esperienze somiglianti (1).

Altri fisici si sforzarono di spiegare un poco diversamente il diamagnetismo de' corpi (2), e questi sforzi debbonsi considerare come semplici congetture e nulla più. D'altronde Faraday, nello scritto su citato, conchiude che *veruna sperienza sinora non istabilisce l'esistenza di polarità nei corpi diamagnetici*, per cui i due generi d'effetti sui diversi corpi in presenza delle calamite devono, nello stato attuale delle nostre cognizioni, essere assolutamente distinti. Fenomeni così numerosi e sovente così complicati dipendono probabilmente da forze, di cui sinora non si è tenuto abbastanza conto, e sono forse necessari nuovi sperimenti per meglio definirle in ogni circostanza. Appunto per ciò aggiungiamo alcuni altri fenomeni appartenenti alla stessa classe. Plucker scriveva a Faraday d'aver rinvenuto e stabilito con parecchie sperienze il fatto curioso che la forza diamagnetica aumenta più rapidamente della paramagnetica. Un cilindretto, composto delle due specie di materie, è repulso in prossimità della calamita, e ad una certa distanza ne è attratto (3). L'autore nelle diverse indagini non ha lasciato veruna occasione per mettere alla prova quel risultato. Il cilindretto composto delle due materie in presenza dei

(1) *Bibliothèque universelle*, t. xx, pag. 15[illegible]
(2) *La stessa Bibliothèque*, t. xxi, pag. 36 e 80 del 1852.
(3) *Philosophical Magazine*, fascicolo di luglio 185[illegible]

poli di debole calamita temporaria, subisce, l'attrazione, la quale si cambia in ripulsione aumentando il vigore dell'elettro-magnete (1). Una verghetta di carbone di bosso era attratta nella linea assiale dalle armature polari poste a grande distanza, mentre ne era repulsa nell'equatoriale alle minime distanze (2). Becquerel Edmondo dice d'aver osservato che il carbone ed il vetro sono attratti quando la calamita è debole, e repulsi quando è vigorosa (3). Faraday inoltre, con esperienze delicate, avrebbe scoperto che i corpi debolmente paramagnetici si repellono fra loro nel campo della calamita, come succede anche dei diamagnetici, e che i paramagnetici e diamagnetici mutuamente si attraggono (4). Secondo le sperienze d'Oersted, un ago diamagnetico, sospeso orizzontalmente, prenderebbe la direzione assiale innalzandolo alquanto sui margini delle facce polari, mentre fra queste si dispone nell'equatoriale. Quella posizione sarebbe pure d'equilibrio stabile, giacchè, quando ne è rimosso, vi ritorna dopo alcune oscillazioni. L'esperimento è stato istituito col bismuto, col succino, colla madreperla, colla scaglia di tartaruga, coll'alabastro, col cannello di penna, col solfo ed altri corpi diamagnetici. Il platino, il palladio, l'iridio, il titanio, la lega composta di 0,825 di stagno, 0,024 di bismuto, e 0,108 di ferro ed altri corpi debolmente paramagnetici, sospesi orizzontalmente ed innalzati od abbassati verso i margini superiore od inferiore delle facce polari, prendono la posizione equatoriale, mentre assumono l'assiale fra le facce medesime. Un filo di ferro, ben anche di $^1/_{10}$ di millimetro di diametro, si metteva sempre nella direzione assiale in qualunque posizione era portato (5). Questi fatti potranno dare qualche lume nell'analisi delle forze, per le quali si producono i due generi di fenomeni magnetici. Lo stesso fisico fa parola eziandio di forza coercitiva diamagnetica riscontrata in alcuni corpi solidi, cui si deve aggiungere la stessa forza, che Plucker sembrerebbe aver rinvenuto in alcuni gas (6). I segni di magnetismo, riscontrati nel vapore (7), si debbono forse all'induzione della terra ed all'ossigeno dell'atmosfera.

(1) *Annalen der Physik* di Poggendorff t. LXXIV pag. 363 del 1848.
(2) Gli stessi *Annalen* di Poggendorff, t. LXXIII pag. 617 del 1848.
(3) *Comptes rendus* dell'Accademia di Francia del 12 agosto 1850.
(4) *Bibliothèque universelle*, t. XVI pag. 129 del 1851.
(5) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. II, pag. 252.
(6) *Annales de chimie et de physique*, t. XXXIX, pag. 344.
(7) *Annali di fisica* più volte citati, 2ª serie t. I, 267 e t. II, 6.

Le due condizioni magnetiche dei corpi offrono un altro esempio di dualismo, per cui il potere diamagnetico imprime una nuova direzione allo studio di questo ramo della scienza. Si possono formare dei corpi perfettamente neutri rispetto all'azione magnetica: sciogliendo in certa proporzione del persolfato di ferro (paramagnetico) in un volume d'acqua (diamagnetica), si giunge ad ottenere un liquido che non risente l'azione della calamita. Ma esiste in natura una sostanza semplice neutra in rapporto al magnetismo come il vuoto assoluto? L'azoto forse è il corpo intermedio alle due classi di materie magnetiche. Intanto osserveremo che, essendo l'aria per l'ossigeno in essa contenuto una sostanza paramagnetica, la forza delle calamite sarebbe propagata a distanza in virtù delle molecole ponderabili, come la forza elettrica (§ 1285). I fenomeni che presentano i fluidi liquidi (§ 1585) ed aeriformi (§ 1586), si comprendono in generale sotto la legge seguente: *l'attrazione per la calamita d'un corpo paramagnetico immerso in un fluido, diminuisce o cresce in ragione del potere attrattivo o repulsivo della massa fluida rimossa; e la ripulsione per la calamita d'un corpo diamagnetico aumenta o diminuisce in ragione del grado d'attrazione o ripulsione del fluido spostato.* Da questa legge però non si deve dedurre, come ha fatto Becquerel, che i corpi siano tutti in differente grado attratti dalla calamita, giacchè, essendo il bismuto respinto e il ferro attratto nel vuoto, ne risulterebbe che il vuoto stesso si dovrebbe considerare come paramagnetico di più del bismuto e di meno del ferro.

1588. Un gran numero di fatti dunque dimostrano che colle calamite si ottengono degli *effetti meccanici* e *fisici* sulla materia ponderabile, era naturale d'indagare se producono degli *effetti chimici* e *fisiologici*. Son già parecchi anni che Murray ha annunziato alcuni fatti, dai quali deduceva l'influenza del magnetismo sulle azioni chimiche. Ridolfi, dalle prove istituite, ebbe a dubitare di quelle conseguenze, e Carpi ha ripetuto le sperienze di quel fisico senza effetto. Nobili fece dei tentativi insieme a Melloni sul cloruro e sul nitrato d'argento, da cui ritrasse per conseguenza che la forza magnetica non esercita veruna influenza sulle azioni chimiche (1). Hunt però credè di aver notata l'influenza del magnetismo sulla maniera di aggrupparsi delle molecole materiali (2). Ma anche questi fatti non furono riconosciuti idonei a dimostrare che vi abbia

(1) Per queste indagini si veggano gli *Annali di fisica* ecc. t. XIII, pag. 462.
(2) Gli stessi *Annali*, t. XIII, pag. 130.

sino ad ora qualche relazione fra le forze magnetiche e le azioni chimiche.

Lo stesso si dica dell'azione delle calamite sugli esseri organici. Il così detto *magnetismo animale* è ancor troppo avvolto nella folta nebbia del ciarlatanismo per offrire qualche principio scientifico. Dalle azioni delle calamite si potranno forse in seguito ottenere degli effetti chimici e fisiologici; ma nello stato attuale delle nostre cognizioni non si hanno fatti di tale specie ben certi e definiti per essere annoverati fra le verità della fisica.

1589. La forza magnetica non si limita nella sua azione ai corpi ponderabili, ma esercita il suo potere eziandio direttamente od indirettamente sugli imponderabili, cioè sull'elettrico, lumico e calorico. Il magnetismo non solo rimuove l'elettrico dalle masse dei conduttori e lo spinge in corrente (§ 1566), ma agisce direttamente sullo stesso fluido separato dalle molecole dei conduttori medesimi e reso libero nello spazio atmosferico o nel vuoto pneumatico. All'elettrico, che costituisce l'arco voltaico (§. 1442), si accosti il polo d'una vigorosa calamita: tosto si vedrà che la massa luminosa è agitata, piegata e rimossa secondo la posizione, che si fa prendere alla calamita, o il polo che le si presenta. L'arco voltaico fa provare per reazione all'ago magnetico, posto in sua presenza, delle agitazioni e lo fa deviare dalla direzione ordinaria.

La calamita esercita del pari la sua azione sull'elettrico reso libero collo stropicciamento, come è stato dimostrato da De la Rive (1). Nella tubulatura d'un pallone di vetro, del diametro di circa 30 centimetri, si assicuri a tenuta d'aria una verga cilindrica di ferro dolce, di lunghezza tale che con un suo estremo corrisponda al centro di quella capacità, mentre coll'altro sporge all'infuori di 3 in 4 centimetri. La verga è ricoperta in tutta la sua superficie d'un grosso strato di ceralacca, ed al disopra dello strato isolatore è circondata da un anello di rame verso la parte più vicina alla parete del pallone. Dall'anello parte un gambo conduttore che, ben isolato, attraversa la medesima tubulatura dove è innestata la verga di ferro, e termina esternamente in un gancio. Una seconda tubulatura del pallone è munita di viera con chiave, per dove si rarefà l'aria sino a 2 in 3 millimetri col mezzo della machina pneumatica. Ciò fatto, si mette in comunicazione il gancio col conduttore principale della machina elettrica, e l'estremità esterna del cilindro o verga di ferro coi cuscinetti

(1) *Annali di fisica*, ecc. soldati 2ª serie, t. IX, pag. 193

isolati l'elettrico passa per l'anello nella capacità del pallone e circola in essa per invadere la verga di ferro formando un getto luminoso più o meno irregolare. Si renda ora magnetizzato il ferro mettendone a contatto l'estremità esterna col polo d'una vigorosa calamita ed usando la diligenza di conservare l'isolamento: allora il fenomeno cambia d'aspetto. La luce elettrica non si ravvisa più sui differenti punti dell'estremità del cilindro di ferro, ma soltanto sulla periferia, dove forma una corona splendente continua; questa ed i getti, che ne emanano, hanno un movimento di rotazione intorno alla verga calamitata in un verso o nell'opposto, secondo la direzione delle scariche elettriche e secondo il polo della calamita a contatto col ferro. I getti più brillanti sembrano partire dal contorno luminoso all'estremità della verga, senza confondersi con quelli che mettono capo all'anello. Al momento che cessa la magnetizzazione del ferro, levando la calamita, il fenomeno luminoso ritorna all'aspetto di prima eguale a quello dell'esperienza dell'uovo filosofico (§ 1434). È necessario di adoperare una machina elettrica piuttosto energica, onde riesca in tutta la sua pienezza, o la machina idro-elettrica, colla quale si hanno facilmente i due stati elettrici (§ 1229).

Un fenomeno consimile al descritto è stato ottenuto da Walker mediante la pila alla Grove di 160 coppie (1). Compresse egli il reoforo negativo sul polo boreale d'una vigorosa calamita a ferro di cavallo ed avvicinò al medesimo il reoforo positivo in modo da trarne la scintilla. Immantinenti comparve un'aureola splendente circolare, la quale girava attorno al polo da sinistra a destra. Cambiò il polo della calamita esperimentando coll'australe, e l'aureola luminosa comparve con un moto rotatorio diretto in contrario verso.

Il magnetismo della terra deve esercitare un'influenza somigliante sulle scintille delle batterie elettriche e molto più sulle grandi scariche dell'elettricità delle nubi durante gli oragani. Sembra altresì che le aurore boreali provino l'influenza di quella forza.

1590. Alcuni corpi sono dotati della proprietà di far ruotare il piano di polarizzazione d'un raggio lucido (§ 848 e 872), e da qualche anno si è scoperto da Faraday che altri mezzi l'acquistano sotto l'azione del magnetismo (2). Nel primo caso il fenomeno avviene per semplice azione molecolare, e si chiama per ciò *rotazione atomica*, nel

(1) *Annali di fisica*, ecc. [illegible], 1ª serie, t. vi, pag. 176.

(2) *Annali di fisica*, ecc. t. xx, pag. 204, t. xxi, pag. 225, t. xxiii, pag. 197, e pag. 5 e 229.

secondo in virtù delle calamite e dicesi *rotazione magnetica* del piano di polarizzazione. Questo nuovo fenomeno fu ben presto verificato dai fisici, che intravedevano in esso il vincolo con cui la luce si collegava al magnetismo e quindi all'elettricità (1). Da quest'azione del magnetismo sulla luce ebbero origine i fenomeni diamagnetici precedentemente discorsi.

Un raggio luminoso, emanato dalla lucerna alla Locatelli, è ricevuto in *a* da qualche polarizzatore (§ 845), donde così modificato entra nel pezzo di flinto o meglio vetro pesante *d* a facce opposte parallele, procedendo da *a* in linea retta verso *b* (fig 493) Il raggio polarizzato è ricevuto nel prisma analizzatore di Nicol (§. 845) collocato in *b*, dove si osserva applicandovi l'occhio. Il mezzo diafano *d* è disposto fra i poli d'un'energica calamita temporaria a ferro di cavallo, colla cui attivazione il raggio luminoso comparisce all'occhio attraverso il prisma, e ne è di nuovo occultato tosto che cessa l'azione magnetica interrompendo la corrente elettrica. Per quest'azione ruota il piano di polarizzazione infatti il raggio polarizzato diventa egualmente visibile se si giri il prisma d'un certo numero di gradi durante il tempo che la calamita è inattiva, e in questa posizione dell'analizzatore ritorna invisibile ripristinando l'azione magnetica. *La rotazione del piano succede nello stesso verso delle correnti, supposte circolare nelle calamite* (§.1539), *indotte nel ferro dalla pila* (§. 1513), e riesce tanto più grande quanto più è energica la calamita. Faraday adoprava 5 coppie alla Grove per attivare il suo grande magnete, e Pouillet si è servito di 100 coppie. Coll'apparato, messo a disposizione del municipio di Genova per l'ottavo congresso della scienza in Italia, si sperimentò il fenomeno anche con maggior numero di coppie. L'effetto si manifesta più sensibile introducendo il raggio pel foro fatto lungo l'asse di due cilindri di ferro, ai quali si avvolge l'elica magnetizzatrice, da cui si deduce che l'*effetto è maggiore quando tutte le linee di forza magnetica sono parallele al raggio polarizzato.* Se questo attraversa il mezzo diafano perpendicolarmente alla direzione assiale della calamita o alla linea delle forze magnetiche dell'elica percorsa dalla corrente, l'esperienza mostra essere nullo l'effetto.

Parecchi altri solidi non solo, ma anche molti liquidi presentano con intensità differenti il fenomeno, che segue le medesime leggi. I liquidi si racchiudono in tubi con sottili lastre di vetro fra loro pa-

(1) *Annali* suddetti, t. xxi pag. 75 e 231, e t. xxii pag. 177

rallele. Agitando il liquido, la rotazione non è alterata. Faraday fra i diversi corpi sottoposti alla prova, ha trovato *Efficaci* — Il vetro pesante o boro-silicato di piombo, il borato di piombo, il flinto, il crovno, il salgemma, lo spato fluoro, l'acqua, l'alcoole, l'etere, l'olio di mandorle dolci, l'oleina, l'olio di castoro, di resina, d'olive, di lino e tutti gli oli fissi, l'essenza di trementina, di mandorle amare, di lavanda, di gelsomino, di garofano, di lauro, le nafte di diverse qualità, lo spermaceto liquido, il solfo in fusione, i cloruri di solfo, d'arsenico ecc L'autore mise alla prova più di 150 soluzioni acquee ed alcooliche d'acidi, di sali, di zucchero, di gomma ecc, che tutte mostraronsi attive, osserva però che in esse il liquido solvente era forse il solo efficace · *Inefficaci*. — Il vuoto e sinora i fluidi aeriformi, gas e vapori, sotto diversi gradi di condensazione, i corpi cristallizzati meno le poche eccezioni sopra accennate. Il salgemma e lo spato fluoro sono efficaci, come si disse, ed equiassici, mentre i cristalli doppiamente rifrangenti di spato islandico, di solfato di calce, e di barite, di carbonato di soda ecc. sono inefficaci.

La rotazione del raggio polarizzato avviene eziandio coll'azione magnetica immediata della corrente elettrica sul corpo diafano senza l'aiuto dell'induzione del ferro, essa *si fa nello stesso verso per cui gira la corrente*. Tubi di metallo, di vetro e di altre materie diamagnetiche, dove si contenevano i liquidi, non hanno dato a Faraday differenza sensibile nel grado di rotazione. Adoprando tubi di ferro, l'azione riesce più potente, e il grado di rotazione s'accrebbe colla grossezza del tubo e trovò l'effetto massimo quando la parete aveva millim. 6,4 (poll $^{1}/_{4}$), oltre il qual limite la maggiore grossezza era di nocumento all'effetto, allontanandosi la corrente dal liquido. L'elettrico, provocato da batterie voltaiche o di Leida e diretto lungo le pareti dei tubi, non produce veruna azione magnetica sulla materia (§ 1511, come pure niuna alterazione nel raggio polarizzato

Chiamando coll'unità il grado di rotazione prodotto dall'acqua sotto l'azione delle correnti, Faraday ha trovato, per la forza magnetica da lui impiegata, i rapporti seguenti

Olio di trementina . .	11,8	Vetro flinto . .	2,8
Vetro pesante . . .	6,0	Salgemma . .	2,2

Aggiunge altresì che l'acqua è superiore all alcoole e questo all'etere Becquerel ha pure verificato che il vetro pesante è di più attivo del flinto e questo di più del crovno Fra le soluzioni, quelle dei cloruri metallici sarebbero dotate della maggior efficacia. la solu-

zione di cloruro di zinco avrebbe un grado di rotazione doppio di quello dell'acqua (1). I silicati di piombo puri si mostrano, secondo il Danese Matthiesen, ben del doppio più attivi del boro-silicato o vetro pesante (2).

La rotazione magnetica differisce dall'atomica imperciocchè la prima succede sempre nello stesso verso della corrente magnetizzatrice e varia solo in grandezza secondo la natura del mezzo diafano; mentre la seconda si fa nell'uno o nell'altro verso al variare la qualità del mezzo medesimo per cui transita il raggio polarizzato. Se quindi la corrente è diretta in modo che la *rotazione magnetica* si faccia nello stesso verso dell'*atomica*, i due effetti si sommano e si ha una deviazione maggiore, nel caso inverso essa eguaglia la loro differenza. Ne risulta altresì che la rotazione atomica, per rispetto alla persona che la osserva, si fa sempre dallo stesso lato tanto che il raggio entri per una faccia ed esca per l'opposta del corpo diafano, quanto all'inverso. Nella rotazione magnetica invece, tenendo costante la posizione dei poli della calamita o la direzione della corrente, la rotazione succede in contrario verso per chi la osserva da una faccia o dall'altra. Nel cristallo di rocca p. e. la rotazione atomica è sempre da sinistra a destra osservata da qualunque parte (§. 872), nel vetro flinto la rotazione magnetica, se ad una estremità ha luogo, p. e, da sinistra a destra, all'estremità opposta succede da destra a sinistra per chi la osserva. La ragione è chiara: perchè, posto l'osservatore al polo sud, le correnti nelle calamite e nelle spirali elettrodinamiche (§. 1530), sono dirette da sinistra a destra, e collocato al polo nord vanno invece da destra a sinistra per rispetto a lui.

1591. Si è veduto che il cambiamento di posizione del raggio polarizzato riesce maggiore quando tutte le linee di forza magnetica sono parallele al raggio medesimo, ed è appunto su tale principio che è costrutto *l'apparato di rotazione magnetica* per le dimostrazioni nella scuola (3). Esso si compone della verga *abcd* di ferro dolce della grossezza di 4 e della lunghezza di 22 in 24 cent., piegata a squadra alle estremità, cui sono applicati due cilindri E, F dello stesso metallo posti a rincontro l'uno dell'altro col loro asse sulla medesima retta (fig. 491). Ciascuno di questi è del diametro di

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3ᵉ serie, t. XLII, pag. 137.
(2) *Annalen der Physik*, di Poggendorff, t. LXXXII, pag. 65.
(3) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVI, pag. 54.

circa 3 e della lunghezza di 9 centim., ed ha lungo l'asse un foro circolare del diametro di un centim., che si prolunga attraverso le branche della squadra metallica, talchè un raggio di luce passa liberamente nella direzione del loro asse comune. Un filo di rame coperto di seta, del diametro di 2 millim. e della lunghezza di 150 e più metri, è avvolto attorno ad ogni cilindro in spire dirette per lo stesso verso. L'estremità interna di ciascuna elica è saldata al rispettivo cilindro e l'altra resta libera. I capi liberi si congiungono coi reofori della batteria voltaica: la corrente transita dapprima l'elica d'un cilindro, passa lungo di questo e della verga a squadra nell'elica dell'altro, e dopo averla percorsa si getta nel reoforo negativo della pila a ripigliare il suo corso. In tal maniera i cilindri di ferro diventano due energiche calamite temporarie, i cui poli eteronomi esercitano la loro azione magnetica sul corpo diafano *d* collocato nello spazio a loro interposto. Le materie solide disposte in lamine a facce parallele, ed i liquidi contenuti in tubi chiusi da sottili vetri si collocano sull'apposito sostegno nell'intervallo dei cilindri. Due prismi di Nicol *p*, *q* sono accomodati alle estremità esterne delle due calamite temporarie, ove si possono girare per estinguere, col loro incrociamento, la luce d'una lampada L disposta sul loro prolungamento, l'anteriore *p* polarizza il raggio luminoso, e il posteriore *q* serve d'analizzatore. Si opera egualmente sulla luce delle nubi o del sole introdotta nell'asse dei cilindri da un riflettore. Disponendo il prisma *q* in modo che lasci passare il raggio lucido, questo viene occultato tosto che si mette in azione la calamita. Si fa quindi girare il prisma analizzatore a destra od a sinistra per fare ricomparire il raggio stesso e l'arco descritto dà la misura della rotazione magnetica. Se la luce è molto viva, non si ha l'estinzione sensibilmente completa, ma soltanto un grado minimo, che fa conoscere la posizione del prisma pel totale oscuramento. Allorchè nella sua incidenza la luce è bianca, le imagini, avanti e dopo quel minimo, compariscono colorate.

La verga di ferro sarà bene che sia più grossa e divisa in due parti in modo che, senza diminuire l'esatta comunicazione metallica, le due metà scorrano l'una sull'altra per variare la grandezza dell'intervallo, dove si colloca il corpo diafano. Imperocchè, pel maggior effetto della rotazione, importa che le due facce del mezzo *d* siano nella maggior vicinanza possibile ed anche al contatto colle estremità dei cilindri magnetici. Il meccanico Soleil ha aggiunto di dietro al prisma polarizzatore due lamine di quarzo disposte in guisa

che si esprime la rotazione per le grossezze delle lamine medesime (1), sapendosi che quel cristallo è dotato naturalmente della rotazione atomica (§. 872).

1592. Faraday aveva riconosciuto che il grado di rotazione aumenta colla grossezza del mezzo diafano sottoposto all'azione magnetica. L'aumento però deve essere limitato sino al punto dove si estende questa forza, come appunto risulta dalle sperienze di Bertin; secondo il quale la rotazione magnetica diminuirebbe in progressione geometrica, mentre la distanza dalla calamita cresce in progressione aritmetica (2).

Esperimentando con istrati d'acqua di differente grossezza, egli ha ottenuto nelle stesse circostanze i risultati seguenti:

	Grossezze	Rotazione	Grossezze	Rotazione
Centim.	1.	2° 0′	13 cent.	5° 0′
»	3.	4. 25	15 cent.	5. 0.

dove si scorge che al di là di un certo punto l'aumento della grossezza non produce più verun accrescimento nella rotazione.

In riguardo alla distanza, Bertin ha istituito alcune serie d'esperienze col vetro flinto, in due delle quali aveva la grossezza di millimetri 38,9 ed ottenne i risultati seguenti:

	Distanza dal polo	Rotazione osservata		Distanza dal polo	Rotazione osservata
millim.	0.	11° 12′	millim.	6.	9° 20′
»	1.	11. 0	»	7.	8. 47
»	2.	10. 25	»	8.	8. 35
»	3.	10. 7	»	9.	8. 20
»	4.	9. 50	»	10.	7. 55
»	5.	9. 30			

Collo stesso pezzo di flinto, ma sotto una maggior forza magnetica:

millim.	0.	12° 30′	millim.	30.	5° 45′
»	5.	11. 10	»	35.	5. 5
»	10.	9 35	»	40.	4. 38
»	14.	8. 30	»	45.	4. 0
»	20.	7. 25	»	50.	3. 35.
»	25.	6. 35			

Nella prima serie d'esperienze le distanze crescono successiva-

(1) *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. XXI, pag. 252.
(2) *Annales de chimie et de physique*, 3ª serie, t. XVIII, pag. 5.

mente di 1 centimetro e nella seconda di 5; mentre le rotazioni corrispondenti sono tali che il quoziente, ottenuto dalla divisione di ognuna di esse per la precedente, riesce prossimamente costante. Da ciò si deduce che, *mentre le distanze crescono in progressione aritmetica, le rotazioni diminuiscono in progressione geometrica.*

Faraday opinava che nelle soluzioni l'effetto fosse dovuto al solvente, senza che vi avesse sensibile influenza la materia disciolta. Bertin ha trovato invece che le materie solubili aumentano o diminuiscono la rotazione magnetica d'un liquido secondo il potere di cui sono dotate. Infatti la soluzione concentrata di cloruro di sodio gli ha dato per rotazione 6° 20′, diminuendo essa a misura che veniva allungata, sinchè l'acqua pura diede 3° 40′. La soluzione concentrata di cloruro di zinco produsse 10° di rotazione magnetica, mentre l'egual quantità d'acqua sotto le stesse circostanze soltanto 4° 30′. Il grado di rotazione magnetica del solfuro di carbonio risulterebbe, secondo le sperienze di Bertin, triplo di quello dell'acqua ed eguale al vetro flinto di Faraday.

Dalla differenza precedentemente notata, fra la rotazione atomica e la magnetica (§ 1590), si deduce che la deviazione, subita dal raggio polarizzato, deve annullarsi quando retrocede nel mezzo diafano dotato naturalmente del potere rotatorio; mentre deve successivamente aumentare quando il retrocedimento ha luogo nel mezzo sotto l'azione della calamita. Faraday, all'appoggio di questo principio, ha moltiplicato la rotazione magnetica, rendendola in tal guisa sensibile anche in quei mezzi, che ne sono debolmente dotati (1). Un parallelepipedo di vetro pesante, della lunghezza di millim. 63,5 (poll. 2,5), e di 17,8 (poll. 0,7) di lato, fu levigato su le due piccole facce estreme, le quali si ricopersero di foglie d'argento in guisa da presentare ciascuna internamente uno specchio piano. Si rimise a nudo sopra ciascuna faccia lo spazio di millim. 2,5 (poll. 0,1) in modo che il raggio luminoso, introdotto obbliquamente per una di esse, venisse, dopo due o più riflessioni sugli specchi metallici, ad uscire per lo spazio scoperto della faccia opposta. Faraday ha così moltiplicato la rotazione magnetica e resa molto sensibile quando è debole. Operando in tal maniera non è giunto a riconoscere verun potere rotatorio nell'aria, come pure nel quarzo, nello spato islandico ed in altri cristalli bifrangenti, all'opposto di quanto dice d'aver osservato Becquerel esperimentando col metodo comune.

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xxxi, pag. 278.

1293 La precedente relazione fra il magnetismo e la luce, differisce dall'azione di alcuni raggi luminosi dello spettro solare, annunziata la prima volta da Morichini, da alcuni confermata e da altri contraddetta. Il fisico italiano concentrava i raggi violacei dello spettro, mediante una lente convessa, e li faceva cadere così riuniti sul punto di mezzo del braccio dell'ago d'acciaio da essere calamitato. Lasciando agire per un'ora il fuoco di quei raggi sull'acciaio, egli lo trovava dotato della polarità magnetica. Carpi, Ridolfi, ripeterono in Italia con felice successo l'esperienza, e Morichini calamitò diversi aghi alla presenza di Onofrio Davy, di Playfair ed altri scienziati inglesi. Alcuni fisici in Italia ed oltremonte, non avendo potuto ottenere eguale risultamento, misero in dubbio il fenomeno, quando qualche anno dopo la signora di Sommerville intraprese diverse sperienze, dalle quali sarebbe confermata la scoperta del fisico italiano. Essa copriva di carta bianca la metà d'un ago da cucire della lunghezza di millim. 25,4 (poll. 1), esponendone l'altra metà all'azione dei raggi violacei, ed a capo di due ore, trovò l'ago calamitato col polo boreale dalla parte esposta all'influenza della luce violacea. I raggi di colore indaco producevano quasi lo stesso effetto e quelli dell'azzurro e del verde in minor grado. Allorquando si operava nell'egual modo coi raggi dello spettro gialli, aranciati e rossi o al di là del rosso, l'ago non acquistò veruna proprietà magnetica, quantunque fosse tenuto esposto ai medesimi ben anche durante tre giorni. Pezzi di molla d'acciaio presentarono sotto l'azione dei raggi più refrangibili l'egual effetto, il quale si otteneva in minor tempo concentrando i raggi stessi colle lenti. I raggi luminosi trasmessi per lastre di vetro azzurro ed anche verde come pure per nastri di seta dello stesso colore producevano l'egual effetto.

Baumgartner poscia annunziò d'aver magnetizzato dei fili d'acciaio ben tersi e lucidi in alcune parti, esponendoli alla bianca luce solare. Le parti pulite prendevano il polo boreale e le altre l'australe. L'effetto era più pronto concentrando i raggi solari sul filo d'acciaio. Operando in tal maniera sopra un filo d'acciaio della lunghezza di circa 200 millimetri, ottenne 8 poli, e non riuscì a calamitare aghi uniformemente coperti d'uno strato d'ossido od egualmente lucidi e puliti in ogni loro parte. Christie ha osservato che un ago calamitato ed anche uno di rame, sotto l'azione dei raggi della luce bianca solare, diminuiva più presto che all'ombra l'arco d'oscillazione, che compiva in virtù della forza di torcimento del filo cui stava sospeso e l'effetto si manifestava maggiore sull'ago calamitato. Barlow e

trovò che una calamita naturale armata, che sosteneva un certo peso, aveva raddoppiato di forza essendo stata esposta per 24 ore alla bianca luce solare.

Le cose erano in questo stato quando alcuni anni sono Riess e Moser pubblicarono diverse sperienze, per le quali veniva di nuovo messa in dubbio la proprietà magnetica della luce violacea. Da quanto appare essi adoprarono ogni diligenza nelle loro osservazioni, determinando il numero delle oscillazioni fatte in dato tempo da aghi, avanti e dopo essere stati esposti ai raggi violacei. Quei fisici li concentrarono nel fuoco d'una lente di millim. 30 di diametro e 58 di distanza focale, che fecero scorrere per 200 volte sulla metà dell'ago, e ripeterono l'operazione sopra differenti aghi in diverse ore del giorno e stagioni dell'anno senza che il numero delle oscillazioni riuscisse sensibilmente disuguale avanti e dopo l'azione della luce. Riuscirono loro del pari infruttuosi i tentativi fatti per verificare i risultati ottenuti da Baumgartner. In conseguenza di ciò conchiusero di essere autorizzati *a rigettare totalmente una scoperta che, durante alcuni anni, ha parecchie volte posto in imbarazzo la scienza.* Le piccole differenze, aggiungono essi, che si riscontrano in qualcheduna delle nostre sperienze, non possono dipendere da un'azione reale consimile a quella, che credono aver scoperta Morichini, Sommerville, Baumgartner ecc. in una maniera, secondo loro, sì chiara e sì decisa.

1594. Il calorico si polarizza come la luce (§ 1104), era naturale quindi d'indagare se il piano di polarizzazione d'un raggio calorifico subiva qualche cambiamento come un raggio luminoso sotto l'azione del magnetismo. Il fenomeno fu tentato da Wartman appena si conobbe la scoperta di Faraday e poscia meglio dimostrato da De La Prevostay e Desains (1). Essi impiegarono il calore solare invece di quello emanato dalla fiamma d'una lucerna, coll'*apparato di rotazione magnetica* descritto (§ 1591). I due prismi erano fatti con ispato islandico ed acromatici, le cui sezioni principali erano disposte sotto l'angolo di 45°. Il raggio polarizzato, tanto libero che sotto l'influenza magnetica, veniva ricevuto su la pila del termo-moltiplicatore collocato alla distanza conveniente per non provare l'ago del galvanometro l'azione dell'elettro-magnete. Il fascio calorifico, riflesso dall'eliostata, passava pel primo prisma birangente, ed il solo raggio ordinario polarizzato entrava per l'asse del cilindro anteriore dell'elettro-magnete (§ 1591), ed attraversava un pezzo di vetro

(1) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, 2ª serie, t. I, pag. 19.

tinto di 38 millim. di grossezza. Incontrava poscia il secondo prisma di spato islandico, il cui raggio ordinario poteva essere ricevuto sulla pila del termo-moltiplicatore situato a 4 metri di distanza. Lo strumento termoscopico aumentava di alcuni gradi quando si metteva in azione l'elettro-magnete, e ritornava alla primitiva indicazione quando cessava l'influenza della calamita.

1595. L'attitudine dei corpi, a provare l'azione della calamita, è variata dall'influenza del calorico. Infatti si trova che il ferro, il nicolo, il cobalto e gli altri metalli della stessa categoria sono meno attratti più s'innalza la loro temperatura (1). Riscaldando invece le soluzioni dei composti di quei metalli non si altera il vigore con cui ne sono attratte. Il diamagnetismo del bismuto diminuisce rapidamente coll'accrescimento di temperatura, e secondo Plucker dal calore ordinario al più elevato si riduce ad 1/8. Gli altri metalli furono riscaldati ad altissima temperatura ed alcuni liquefatti senza che perdessero la loro virtù diamagnetica. Il mercurio, il solfo, la stearina ecc. non variano pure il loro diamagnetismo passando da temperature elevate alle più basse. L'ossigeno perde, come il ferro, della sua proprietà paramagnetica coll'elevazione di temperatura, ed una volta riscaldato non è più attratto dalla calamita. Il calore, cui ha luogo un tale mutamento è compreso, secondo Faraday, nelle temperature ordinarie dell'atmosfera. L'attitudine paramagnetica dell'ossigeno aumenta per conseguenza a basse temperature.

1596. Il magnetismo opera un cambiamento molecolare nei corpi e principalmente nel ferro, come è provato dai suoni che si ricavano da questo metallo sotto l'azione magnetica (§ 1518), e quindi dovrebbe dar luogo a sviluppo di calorico come collo sfregamento immediato (§ 1149). Grove perciò ha indagato se *da un liquido, che tiene in soluzione dell'ossido di ferro e riempie un tubo, si sviluppa del calorico sotto l'azione interrotta e consecutivamente ripetuta del magnetismo prodotto dall'elica che lo circonda*. L'autore ebbe nel 1845 qualche indizio di calorico sviluppato in tal maniera, ma poteva insorgere dubbio sulla provenienza, per quanto abbia preso tutte le precauzioni dirette ad allontanare il calorico sviluppato dalla corrente elettrica. L'autore ha ottenuto lo stesso effetto con un'ancora di ferro dolce, in una cui cavità era disposto un delicato termometro e che veniva sottoposta all'azione continuata d'una calamita permanente girevole. Operando con ancora di cobalto e di nicolo si ottiene pure

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xxiii, pag. 142.

l'effetto, quantunque in grado minore; mentre con altri metalli non magnetici a guisa del ferro non compariva affatto verun indizio di calore (1)

1597. I fenomeni descritti fanno intravedere qualche *intima* relazione fra il *lumico*, il *calorico* e l'*elettrico* allo stato ordinario od a quello di *magnetismo*, e risvegliano l'idea della loro dipendenza da un sol principio. In tal caso l'etere comune, con differenti modificazioni, sarebbe capace di diversi effetti, e questi deriverebbero dalla stessa origine. È già da gran tempo che fra gl'imponderabili si è supposto una mutua dipendenza, la quale avrebbe ora acquistato qualche grado di probabilità, senza essere ancor giunti, sotto certe condizioni, a trasformare l'uno nell'altro fluido, quantunque per la elettricità e pel magnetismo siasi già ridotta ad evidenza la loro reciproca convertibilità. È bensì vero che il *piliere voltiano è fonte di elettricità e magnetismo, come pure di luce e di calore*. Ma mentre si sa come l'elettricità si trasformi in magnetismo, non si conosce la sua trasformazione in luce e calore. Grande analogia si scorge fra i fenomeni della luce e del calorico irradiante: come mai però il primo agente nel propagarsi non trascorre da molecola a molecola, da strato a strato della materia ponderabile, e non si diporta in parecchi casi come il secondo? La *visibilità* è relativa ai nostri organi e non costituisce per nulla una proprietà essenziale del fluido luminoso, essendo la nostra vista così disposta da accorgersene della presenza unicamente allo stato d'irradiazione. D'altra parte perchè l'elettrico non irradia? Perchè si propaga soltanto col mezzo della materia ponderabile? La mancanza d'irradiazione dell'elettrico trova un appoggio nella coibenza, di cui sembra dotato il vuoto assoluto (1337). Non abbiamo altresì fatti per comprendere come l'aria intercetti il calorico repente e lasci libero quello irradiante. La facoltà dielettrica invece dei coibenti (§. 1285) e la magnetica dell'ossigeno (§. 1586) ci hanno istrutti da poco tempo come l'elettrico, sotto forma ordinaria e sotto quella dinamica, diffonda la sua azione a distanza con l'intermedio delle materie interposte, non vale l'opporre la diffusione nel vuoto delle nostre macchine, dove si contien sempre materie allo stato d'estrema rarefazione.

A queste considerazioni aggiungiamo che, poco dopo la scoperta della rotazione magnetica, si agitò la questione se la forza della calamita agisca direttamente o per mezzo del corpo interposto su

(1) *Bibliothèque universelle etc.* de Genève, t. XI pag. 210 del 1849

raggio luminoso. Faraday sembrava opinare per l'azione diretta; Melloni la riteneva mediata (1), ed io pure, nel dar conto di quei fenomeni, ammetteva che avesse luogo per l'intermedio del corpo diafano (2). Il niun effetto nel vuoto comune e nei fluidi aeriformi ne è una prova, non avendo la materia nell'una e nell'altra circostanza bastante massa per disturbare, in virtù della forza magnetica, la posizione del raggio polarizzato. Il flinto è repulso, la soluzione del solfato di ferro attratta dalla calamita: in ambidue i corpi però la rotazione magnetica succede nello stesso verso per la ragione che la modificazione delle molecole della massa è sempre determinata dalla direzione delle correnti circolanti nelle calamite o per le spire elettrodinamiche. I corpi bifrangenti si oppongono in generale a tale modificazione per la loro struttura cristallina, e perciò non si prestano alla rotazione magnetica. D'altronde, comprimendo il pezzo di flinto per cui transita il raggio luminoso, varia il piano di polarizzazione sotto la forza della calamita.

Affine di rendere palesi nella scuola le modificazioni, che subiscono le molecole dei corpi in virtù della forza magnetica, si mescoli dell'acqua e dell'alcoole in proporzioni tali d'avere densità eguale a quella dell'olio d'olive, che poscia si versa nel miscuglio agitandolo sino a che molte gocce di questo liquido vengano a diffondersi nella massa, dove saranno suscettibili di muoversi per la più lieve forza. Al miscuglio, contenuto in vaso di sottil vetro, si avvicinino i poli d'una poderosa calamita voltaica: sotto la sua azione, le gocciole d'olio provano dei movimenti abbastanza sensibili, che si palesano ancor più rendendola alternativamente attiva ed inattiva col compiere ed interrompere il circuito della corrente elettrica. L'olio d'olive è diamagnetico e dotato in alto grado del genere d'azione scoperta da Faraday.

1598. Le calamite sono naturali ed artificiali (§. 1576), avendo le prime d'ordinario poca forza. Affine di renderle più energiche si sogliono *armare* o circondarle di lamine di ferro dolce, che costituiscono l'*armatura*. Si determina primieramente la posizione dei poli (§. 1506), e si lavora la pietra calamitaro sotto forma di parallelepipedo A (fig. 495), in modo che quei centri d'azione siano situati ai lati opposti della stessa faccia. Le facce laterali si rivestono colle lamine di ferro *ab*, *cd*, le quali si ripiegano sui poli in pezzi più

(1) *Annali di fisica* ecc., 1ª serie, t. XXIII, 137 e 233, e 2ª serie, t. IV, 20.
(2) I suddetti *Annali*, t. XXI, pag. 238 e t. XXII, pag. 180.

grossi detti *piedi* della calamita. Il rivestimento di ferro è ritenuto da fasce di rame *m*, *n*, colle quali si congiunge una traversa cui è raccomandato l'anello per appendere l'apparecchio. L'àncora *f* è sostenuta per attrazione dai piedi. Il ferro dolce, per la sua grande facoltà magnetica (§ 1577), concentra l'azione della calamita e la rende più energica.

L'efficacia dell'armatura è mostrata dall'esperienza: Galilei, avendone avuto notizia, l'applicò tosto ad una calamita, cui fece reggere 80 volte il proprio peso, mentre lo stesso Gilbert non giunse a farle sostenere il quadruplo (1). Molti anni dopo si perfezionò il metodo d'armare le calamite, ed una che portava soltanto il peso di 3 grani, divenne capace coll'armatura di reggerne 746, moltiplicando così la sua forza di quasi 250 (2). Una calamita capace appena di portare il carico di 6 in 7 grani, dopo essere stata armata, fu rinvenuta da Cavallo atta a sostenerne 300. La più gran calamita naturale esiste forse nel museo d'Harlem d'Olanda: il suo peso, compresa l'armatura, è di circa 110 chilogrammi e ne porta 84 (*Worterbuch*, luogo succitato).

1599. La grossezza da darsi alle lamine, che formano *l'armatura*, dipende in generale dal vigore della calamita, e solo coll'esperienza si può in ogni caso determinare. Si ritenga però che quanto più il ferro è dolce, l'armatura riesce più efficace. Le calamite naturali, le più omogenee e le più dure sono d'ordinario le migliori, e le più grosse riescono bensì di maggior forza assoluta, ma relativamente al loro peso sono meno vigorose delle piccole per la ragione che in queste la forza può più facilmente concentrarsi per intero nell'armatura. Difficilmente si troverebbero delle grandi calamite, che fossero capaci di sostenere il carico equivalente ad alcune centinaia di volte il loro peso, come è delle piccole, per cui *l'attrazione magnetica non segue, come quella di gravità* (§ 124), *la ragione delle masse*. Una calamita massiccia ed una cava nelle eguali circostanze possono spiegare l'eguale forza. Se l'azione magnetica fosse proporzionale alla massa, si produrrebbero fenomeni d'intensità prodigiosa, imperciocchè si danno calamite non solo di alcune centinaia di chilogrammi di peso, ma componenti delle immense montagne alla superficie del globo, come sono il monte Tabergo nella Lapponia svezzese e il Pumacanco nel Chilì.

(1) *Opere di Galilei*, t. XII, pag. 246, ediz. *Classici Italiani*.
(2) *Worterbuch der Physik neu bearbeitet*, t. VI, pag. 642.

La ruggine delle armature, le percosse, il fuoco ed altre cause possono alterarne la forza. Il calorico la diminuisce, ed è per ciò che alcuni rinvennero maggiore l'azione magnetica d'una calamita nell'inverno che nell'estate. Un gran calore poi distrugge del tutto la virtù magnetica, annullandosi le correnti elettriche molecolari, da cui questa dipende (§ 1539). Epino, per dare maggior forza alle deboli calamite, le riscaldava al fuoco rovente e, dopo che esse avevano perduto tutta la loro forza, le magnetizzava col processo stesso delle calamite artificiali, che vedremo.

1600. Si è più volte avuta l'occasione d'osservare che il ferro dolce facilmente si magnetizza e perde all'istante il potere acquistato, tosto che cessa la causa eccitatrice (§§. 1512 e 1577); mentre il ferro crudo e più ancora l'acciaio non ne risentono egualmente l'azione. Tenuti però a contatto colla calamita per qualche tempo, il ferro crudo e l'acciaio son pure validamente attratti dalla calamita, e quando ne siano allontanati si scorge che sono divenuti vere calamite permanenti. Gilbert nel suo trattato del magnete ci fa sapere che la trasformazione del ferro in calamita fu osservata la prima volta al volgere del 1500 da Giulio Cesare chirurgo da Rimini. Più tardi fece la stessa osservazione Grimaldi sulle croci di ferro dei campanili, come si apprende dalla sua *Ottica* (§ 821). Si rinvenne in seguito che il ferro si magnetizza battendolo, limandolo, passandolo alla trafila, torcendolo ecc. ed ancor più strofinandolo contro la calamita.

Un ago da cucire, una lama d'un temperino e simili altri corpi, posti a contatto o meglio sfregati contro un polo della calamita, acquistano ben presto nella parte toccata il polo contrario. Questi primi indizi di magnetizzazione furono studiati in tutte le circostanze e diedero nascimento ai processi per *magnetizzare a saturazione* l'acciaio ed a *fabbricare le calamite artificiali*. L'acciaio dunque in confronto del ferro esige maggior tempo per essere magnetizzato e ritiene tenacemente il potere della calamita una volta che se ne sia impossessato. L'attitudine dei corpi a prendere ed a conservare il magnetismo chiamasi *forza coercitiva*.

1601. Un gran numero di sperienze e di studi si fecero nel trascorso secolo per magnetizzare e fabbricare delle vigorose calamite. Il primo processo consisteva nel collocare un polo della calamita, per es. il boreale, nel mezzo della verga d'acciaio da essere magnetizzata e di strofinarla con esso sino ad un'estremità. Si riponeva il polo al punto di mezzo per farlo sdrucciolare di nuovo sulla stessa

L'influenza delle calamite a distanza, quantunque di poco momento, ci avverte che nel magnetizzare sarà bene di disporre le verghe lungo il meridiano magnetico, onde le correnti della terra concorrano allo stesso scopo delle calamite fisse. Essendo la reazione eguale e contraria all'azione, ne risulta che, una volta attivate le correnti nella verga d'acciaio, queste reagiscono sulle correnti proprie dei magazzini, i quali coll'uso rinvigoriscono così il loro magnetismo, mentre succede all'inverso quando le calamite si lasciano inattive. Per la medesima ragione una calamita che, isolata, non è capace di sostenere un certo peso, può reggerlo congiunta ad un'incudine. Questa gran massa magnetica concepisce per induzione le correnti ed agisce in modo analogo alle armature (§. 1598). L'esperienza dimostra che una calamita diventa più energica accrescendole ad intervalli il carico, vale a dire che giunge in tal modo a sostenere un peso più grande di quello che porterebbe se le venisse tutto in una volta presentato il maggior carico. Il fenomeno sembra dipendere dal vigore, che col tempo prendono le correnti della calamita sotto l'azione di quelle sviluppate nell'àncora. Dipende dagli stessi principii il fenomeno seguente: il cilindro di ferro F è appena sostenuto dal polo *s* della calamita A, avvicinandogli poscia il polo contrario *n* della calamita B, l'attrazione di *s* vien meno e il cilindro cade per la propria gravità (fig. 407). I poli *s*, *n* delle due calamite A, B sostengono ciascuno separatamente il cilindro, eppure la loro azione riunita, invece d'aumentare, diminuisce l'attrazione, ed è perciò che il fenomeno ha preso il nome di *paradosso magnetico*. Esso però rientra nei principii della scienza, se si riflette che le correnti del polo *s* vanno in verso contrario di quelle di *n*, per cui si esercita bensì una doppia azione, ma l'una tende ad indurre nel ferro correnti opposte all'altra, e quindi la forza attraente vien meno o si estingue del tutto.

1604. Nella fabbricazione delle calamite permanenti si richieggono delle materie fornite di forza coercitiva bastante a conservare indefinitamente il magnetismo ricevuto. Il ferro crudo, ritorto, battuto, temprato, impuro ecc. ha qualche grado di forza coercitiva, mentre quello raffinato, detto *ferro dolce*, ne è affatto privo, ed è per ciò che prende all'istante il magnetismo ed all'istante lo perde. In virtù di tale proprietà si presta con molto vantaggio alla costruzione delle calamite temporarie pei motori elettro-magnetici (§. 1515) e per supplire a quelle permanenti, in vista della forza poderosa che possono acquistare (§. 1512). Babinet è giunto

ad averne delle potenti coll'induzione del solo magnetismo ordinario (1). Si sa che il carbonio dà al ferro molta forza coercitiva, e si sa inoltre che il ferro oligisto, la pirite magnetica (solfuro), come pure il basalto ed altre pietre, molte rocce e materie che si rinvengono nel seno della terra ne sono naturalmente dotate. Si apprende quindi che non solo il carbonio, ma l'ossigeno, il solfo, il fosforo, il silicio, ecc. sono pure capaci di dare la forza coercitiva al ferro con cui si combinano (2). Le calamite naturali sono appunto composti ferruginosi di questa specie. Il nickelio ed il cobalto sembrano dotati di qualche grado di forza coercitiva, il primo magnetizzato acquisterebbe una forza che sarebbe circa il terzo di quella del ferro ordinario. Altri metalli sono troppo debolmente magnetici (§. 1582) per manifestare il fenomeno. La forza coercitiva è indipendente dallo stato di aggregazione del corpo, perchè ridotto questo in polvere riesce ancora capace di diventare magnetopolare, come risulta dalle sperienze d'Haldat (3) ed altri.

1605. La scelta dell'acciaio è la condizione essenziale per costruire buone calamite, a cui viene in seguito il processo per fornirlo di quella tempra con cui si raggiunge la maggior forza coercitiva. Nella seconda serie degli *Annali di fisica* da noi diretti (t. 1, 319), si sono pubblicate le notizie più recenti, che risguardano le operazioni pel conseguimento di quel duplice scopo; notizie che, riferendosi alla pratica dell'arte piuttosto che alla scienza, non crediamo di riportare.

Le calamite d'acciaio crescono in vigore con quello delle calamite, che servono a magnetizzarlo. Ma per quanto queste siano energiche, si giunge ad un limite, oltre il quale il di più della forza comunicata è ben presto perduta, essendosi raggiunto il *punto di saturazione*. Si riconosce un tal punto, continuando a magnetizzare la verga con calamite più potenti ed osservando poscia se la forza, di cui è stata accresciuta, viene conservata. Trovandosi che l'accrescimento di forza è grande, si ha di già la certezza che non si era dapprima raggiunta la saturazione. L'intensità magnetica poi non si può aumentare indefinitamente con gran numero di frizioni fatte mediante deboli calamite. Al di là d'un certo numero, le nuove frizioni non producono più verun effetto, e si arriva a tal termine quando la forza coercitiva

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXIV, pag. 78.
(2) Gli stessi *Annali*, 2ª serie, t. 1, pag. 249.
(3) *Annales de chimie et de physique*, 2ª serie, t. LXX.

eguaglia la potenza coercitrice delle correnti magnetiche nella verga. Se la verga ha una certa lunghezza ed è fornita di gran forza coercitiva, può accadere che con deboli calamite nascano dei poli intermedii ai due estremi, o come si dice dei *punti conseguenti*, i quali si riconoscano avvolgendola nella limatura di ferro (fig. 408). Scoresby ha trovato vantaggioso nella magnetizzazione di porre delle sottili lamine di ferro fra i poli magnetizzatori e la verga (1).

S'intende da sè che una verga magnetizzata, venendo sfregata coi magazzini capovolti, diminuisce di forza e i suoi poli sono ben anche rovesciati. Allorquando una lamina acquista un polo a contatto d'un corpo magnetico, si trova fornita del polo contrario, *non potendosi fabbricare calamite unipolari*. Affine di riconoscere se un corpo è magnetico o magnetizzato, basta di farlo scorrere per la sua lunghezza in vicinanza all'estremità dell'ago calamitato liberamente sospeso: se l'azione è sempre attrattiva, il corpo è semplicemente magnetico, e se è attrattiva in alcuni punti e repulsiva in altri, esso è magnetizzato e fornito almeno di due poli e della linea neutra (§ 1596). Si è altrove notato che, spezzando secondo questa linea una calamita, se ne ottengono due egualmente bipolari. per dimostrarlo, si tempri un filo d'acciaio, si magnetizzi a saturazione, indi si spezzi che si avranno due calamite, le quali si riconoscono all'ago od avvolgendole nella limatura di ferro. Spezzando le due metà, si avrà da ciascuna l'egual fenomeno, cioè quattro calamite, ecc.

A compimento delle considerazioni sulla magnetizzazione aggiungeremo che l'acciaio si calamita a saturazione anche colle correnti elettriche (§ 1511), e che la luce è forse dotata della proprietà di magnetizzare i corpi (§ 1593).

1606. Si hanno calamite di gran *forza* riunendo in fasci parecchie verghe magnetizzate, che si tengono assieme con bandelle di rame, come sono i magazzini magnetici (§ 1602). Le calamite rettilinee semplici e quelle riunite in fasci si conservano disponendone due orizzontalmente nella loro cassetta l'una accanto l'altra coi poli eteronomi di fronte, che si mantengono attivi congiungendoli mediante un parallelepipedo di ferro dolce e formandone un rettangolo. Nell'uso delle calamite importa spesso di avere i poli rivolti verso la stessa parte. È perciò che la verga semplice si *piega a ferro di cavallo*, riunendone anche parecchie per avere un apparato di maggior forza (fig. 409). L'ancora di ferro si attacca ai poli, cui si appende il ca

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. [illegible] pag. 19.

co da darsi alla calamita. Le verghe d'acciaio s'incurvano sotto la forma voluta e, dopo averle lavorate per riunirle assieme, si temprano e si calamitano collo stesso processo delle rettilinee, ponendo i poli del magnetizzatore verso il mezzo o la curvatura per istrofinarli su ciascun braccio sino alle estremità. Avanti di temprarle, si fa un foro all'incurvatura ed all'estremità delle verghe per ricongiungerle mediante chiavelli di rame a vite.

In tutti i *Corsi Elementari* di fisica italiani e francesi s'insegna che, per dare maggior forza alle calamite riunite in fasci, conviene disporre le verghe in maniera che quella di mezzo sporga alquanto più all'infuori delle contigue, e che tutte siano fra loro a perfetto combaciamento. Questa pratica è stata ritrovata da Bottger in discrepanza colle molte sperienze da lui istituite (1). Bisogna invece prendere le verghe d'eguale lunghezza e farle collimare coi loro poli nel medesimo piano, che si rende ben uniforme colla lima, onde potervi adattare con esattezza l'àncora pure ben appianata. Le verghe devono essere piuttosto sottili, della grossezza di 3 in 5 millimetri, richiedendosene bensì un maggior numero per formare una calamita di egual volume d'altra composta di grosse verghe, ma che però riesce sempre di forza alquanto più grande. Le verghe sottili hanno la facoltà di poter ricevere una conveniente ed uniforme tempra, prendere il magnetismo in tutta la loro massa, e riescire così più efficaci delle grosse. È altresì bene d'interporre fra l'una e l'altra verga delle liste di carta sino alla distanza di alcuni centimetri dai poli, essendosi trovato vantaggio in questa pratica. Muncke, per ridonare alle calamite indebolite il loro primitivo potere, consiglia di assicurarle verticalmente sopra una tavola ed attaccare al disotto e superiormente ai poli dei pezzi di ferro dolce sino a saturarne compiutamente la loro forza, aggiungendovene in seguito altri pezzi a misura che si manifesta nuovo magnetismo (2).

1607. Occorre spesso di determinare la forza magnetica del globo e delle calamite per metterla a confronto in differenti luoghi o nel medesimo luogo ad epoche lontane, e per riconoscerla nelle calamite. L'ago magnetico, sospeso orizzontalmente, prende una certa direzione e quando ne sia discostato vi ritorna con oscillazioni più o meno celeri secondo il conflitto magnetico fra l'ago medesimo e la terra. Dal numero delle oscillazioni fatte nello stesso tempo si valuta la forza

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, serie I^a, t. I, pag. 109.
(2) *Annali* suddetti, t. III, pag. 108.

magnetica della terra in diversi luoghi ed a diverse epoche, quando l'ago sia uniformemente calamitato e quando l'asse di sospensione passi pel centro d'azione. L'ago oscilla in virtù delle forze cospiranti della terra, che tendono a rimetterlo nella direzione del meridiano magnetico, per cui si muove come un pendolo composto (§ 407). È necessario però che conservi costante il magnetismo in ogni sua parte, giacchè, se provasse qualche cangiamento o nell'intensità o nella distribuzione, la risultante e il punto d'applicazione subirebbero delle variazioni e si avrebbe un pendolo differente. Non subendo l'ago in qualsiasi maniera variazione, allora la differenza del numero delle oscillazioni nel medesimo tempo dipende unicamente dalla differenza dell'intensità magnetica terrestre.

Essendo le forze, che fanno oscillare il pendolo, come i quadrati dei numeri delle oscillazioni fatte nel medesimo tempo (§ 400), si avrà $\frac{F}{f}=\frac{N}{n}$, dove F è la forza magnetica terrestre quando l'ago compie N oscillazioni in un dato tempo, ed f quella da cui è sollecitato quando ne perfeziona n nel tempo medesimo. Supponiamo che in un luogo si sia trovato N = 30 in un minuto, ed in altro o nello stesso luogo ad epoca differente, coll'ago medesimo, risulti $n=28$ pure in un minuto, il rapporto delle due forze nei due casi sarà espresso da $\frac{F}{f}=\frac{900}{784}=1,148$, vale a dire che nel primo caso la forza magnetica orizzontale della terra viene ad essere 1,148 di quella nel secondo della 1.

1608. L'azione terrestre sull'ago calamitato è dovuta alle correnti circolanti nel globo dall'est all'ovest (§. 1541), le quali tendono a disporlo in modo da ridurre le sue correnti (§ 1539) nello stesso verso. L'azione dunque è soltanto direttrice, e non attrae nè respinge l'ago dalla terra. Infatti si prenda un filo d'acciaio, se ne determini esattamente il peso con una delicata bilancia, poscia si magnetizzi a saturazione e si pesi di nuovo: in questa operazione si trova che il peso non ha variato, e che quindi la forza del globo sulla calamita non si esercita dall'alto al basso per aumentarne il peso, nè dal basso all'alto per diminuirlo. Parimenti un ago calamitato, sostenuto orizzontalmente da una lamina di sovero galleggiante sull'acqua, prova l'azione delle correnti del globo, le quali fanno ruotare l'ago stesso intorno al suo centro per dirigerne le correnti nello stesso verso, senza farlo trascorrere sulla superficie del liquido.

Le correnti elettriche della terra agiscono incessantemente sui corpi

magnetici posti alla sua superficie e si determinano per induzione delle correnti. Una verga di ferro dolce della grossezza di alcuni centimetri e della lunghezza di qualche metro, inclinata verso il nord di circa 60°, spiega la proprietà magnetica nello stesso modo del pezzo di ferro sotto l'azione della calamita (§. 1577). Percuotendo con un colpo di martello la verga ad un estremità, acquista qualche forza coercitiva e resta magnetizzata. Avviene egualmente di fili di ferro dolce, che si ritorcano nella direzione del meridiano magnetico, e così con altre operazioni meccaniche, che danno al ferro dolce qualche grado di forza coercitiva (§. 1604). Se si capovolge la verga e la si ripercuote, se ne rovesciano i poli. In tutti questi casi la forza coercitiva è debole, e dopo qualche tempo il magnetismo è scomparso e si richiedono nuove azioni per farlo ricomparire.

In causa dell'azione magnetica della terra si calamitano i ferri, che sieno stati per molto tempo in data posizione e che si riconoscono presentandoli all'ago calamitato. Il polo boreale è sempre situato verso l'estremità inferiore, come si è riconosciuto in molti arnesi di ferro levati dalle costruzioni, di cui facevano parte: tali sono le bacchette delle ringhiere, le croci dei campanili, le chiavarde delle volte, ed anche le spagnolette ed i chiavistelli delle imposte, ed alcune spranghe di vecchi parafulmini, come mi è accaduto di riscontrare nel levarli per erigerli di nuovo secondo i miglioramenti portati dai progressi della scienza. Le lime, i succhielli, le forbici, gli scalpelli ed un gran numero di strumenti d'acciaio delle arti si calamitano pure sotto l'influenza della terra.

1609. Il metodo, che primo si presenta per valutare la forza delle calamite, consiste nel metterle a contatto col medesimo pezzo di ferro dolce od ancora, che si carica di pesi successivamente crescenti sino a vincerne la reciproca attrazione. Si può attaccare all'ancora una leva di secondo genere e misurare la forza del distacco col romano portato alla dovuta distanza, come nella stadera (§. 444). In ogni caso la forza di gravità è la misura di quella magnetica. Questo metodo, oltre indebolire le calamite pel repentino distacco dell'ancora, è soggetto a parecchie cause d'errore e non è suscettibile di valutazione rigorosa. Una palla di ferro dolce, sospesa a flessibilissimo filo di seta, forma il *pendolo magnetico*, il quale è tanto più deviato dalla posizione verticale quanto più è grande la forza attraente della calamita. Ricercando il massimo angolo di deviazione sotto cui la palla è sostenuta dall'attrazione magnetica, si ha il dato per valutare la forza secondo la dottrina del pendolo (§. 194). Questo me-

todo non adoperato a dovere può condurre a risultati differenti

Coulomb misurava la forza magnetica colla bilancia di torsione, che ha servito alla determinazione della forza elettrica (§. 1252), sostituendo all'asticciuola un *ago di ferro dolce od uno di acciaio magnetizzato*. La calamita, tenuta lateralmente, attrae l'ago di ferro nel primo caso e col torcimento del filo si trova il numero di gradi necessario alla loro separazione, i quali esprimono la forza attrattiva della calamita a contatto col ferro. Nel secondo caso si fissa lateralmente all'ago magnetico il polo omonomo della calamita, fra cui succede la ripulsione e si ha la forza magnetica ad una data distanza ancora in gradi di torcimento del filo. L'apparato con tali cambiamenti prende il nome di *bilancia magnetica* di torsione, nei cui risultati si tiene conto dell'azione terrestre sull'ago mobile, la quale si valuta da sola in gradi di torcimento. Nell'uso di questa bilancia bisogna avere grande avvedutezza per escludere l'influenza di corpi magnetici o magnetizzati circostanti sui risultati delle osservazioni.

1010. Il metodo delle oscillazioni, usato per la determinazione della forza magnetica della terra (§. 1007), può essere applicato eziandio a valutare il vigore delle calamite. Le valutazioni però sono relative, in quanto che la forza assoluta è di causa complessa, cioè dipende dall'intensità del magnetismo posseduto dalla calamita e di quello del corpo, di cui prova l'azione. Quando la seconda osservazione si fare a nello stesso luogo ad un'epoca non molto distante dalla prima, si può ritenere invariabile il magnetismo terrestre, il quale serve di termine di confronto dei valori della calamita nei due casi prefissi. Sospesa la calamita orizzontalmente ad un filo di seta per mezzo della staffa di rame R (fig. 500), si determinano i numeri delle oscillazioni N, n, che compie nel medesimo tempo in due differenti circostanze, e si ha tosto il rapporto delle forze $\frac{F}{f} = \frac{N^2}{n^2}$ come precedentemente. Questo metodo può essere adoprato con vantaggio per iscoprire se si è raggiunto il punto di saturazione della verga calamitata (§. 1005).

Le calamite, di cui d'ordinario si esplora la forza, non possono essere sospese per osservarne le oscillazioni, che fanno in un dato tempo. D'altronde, formando esse un pendolo composto, bisognerebbe conoscerne il momento d'inerzia (§. 407) in rapporto all'asse di sospensione, e la posizione esatta dei loro poli o dei centri magnetici. In difetto di queste cognizioni per la pratica, si fa agire la calamita sopra un piccolo *ago di prova*, dotato di gran forza coercitiva, onde

non nasca veruno timore che vari il suo magnetismo sotto l'influenza della calamita medesima. Prima però è necessario stabilire lo stato magnetico di quest'ago relativamente alla terra. Sia n il numero delle oscillazioni fatte dal medesimo in un dato tempo in causa della componente orizzontale f del magnetismo terrestre; e sia N il numero delle oscillazioni nello stesso tempo sotto l'azione simultanea della somma F delle componenti orizzontali della terra e della calamita. Chiamiamo inoltre N' il numero delle oscillazioni ch'esso fa, sempre nel medesimo tempo, in altre circostanze della calamita, essendo F' la somma delle componenti orizzontali corrispondenti. Dalla prima e seconda osservazione si avrà $\frac{F}{f}=\frac{N^2}{n^2}$, e dalla prima e la terza $\frac{F'}{f}=\frac{N_1^2}{n^2}$. Ritenendo ora che la calamita, di cui si cerca la forza, sia collocata nei due casi in maniera che la sua componente orizzontale si trovi nel meridiano magnetico, e sia cospirante con quella della terra, è chiaro che nel primo caso la sua forza è equivalente ad $F-f$ e nel secondo ad $F'-f$. Ma la prima equazione, sottraendo l'unità da ambidue i suoi membri, somministra $\frac{F'-f}{f}=\frac{N^2-n^2}{n^2}$, e la seconda nell'egual modo dà $\frac{F'-f}{f}=\frac{N_1^2-n^2}{n^2}$; donde, dividendo l'una per l'altra, si ricava $\frac{F-f}{F'-f}=\frac{N^2-n^2}{N_1^2-n^2}$, che è il rapporto delle forze $F-f$, $F'-f$ della calamita nelle due circostanze. Con questo metodo si rinviene eziandio la distribuzione del magnetismo nei diversi punti di qualunque calamita e quindi la posizione dei loro poli, presentandola alla stessa distanza verticalmente all'ago di prova nei diversi punti.

1611. Nel corso di questo capitolo ci saremo di già accorti che la forza magnetica si esercita a distanza attraverso l'aria ed altre materie, come pure nel vuoto pneumatico. Ora aggiungiamo ch'essa si propaga attraverso quasi tutti i corpi, e che non è necessario l'isolamento come l'elettrico per custodirla in quelli, che ne sono forniti. Consistendo la magnetizzazione in correnti elettriche eccitate nei corpi per induzione d'altre correnti proprie delle calamite o delle eliche elettro-dinamiche, si comprende come vi abbia distribuzione di quella proprietà senza scapito del corpo magnetizzatore, e non sia d'uopo d'attribuire al così detto fluido magnetico la singolare pro-

prietà di non essere atto a passare nell'acciaio e nel ferro, che vengono calamitati.

Alla paila del piccolo pendolo magnetico (§ 1609) si accosti un polo della calamita: l'attrazione ha luogo tanto coll'interposizione della sola aria quanto con quella d'una lastra di vetro, d'un foglio di carta, d'una lamina di rame, d'una foglia di stagnuola, d'un'assicella di legno, d'uno strato d'acqua ed altre materie analoghe. La diffusione del magnetismo attraverso i corpi fu riconosciuta da Gilbert e dagli Accademici del Cimento (1), e poscia verificata da tutti i fisici posteriori. La limatura di ferro, sparsa sul foglio di carta (§ 1506), come pure sulla lastra di vetro e su tutti i corpi non paramagnetici, prova egualmente l'azione della calamita posta al disotto. E perchè non concepisce verun movimento se si sostituisce al vetro una sottile lamina di latta o di semplice ferro? Il fenomeno ora riesce chiaro secondo il principio stabilito per la forza magnetica analogo a quello d'Archimede per la gravità (§ 1583). La lastra di ferro, essendo un corpo paramagnetico, prova l'influenza diretta della calamita e ne assorbe in certa qual maniera la forza, la quale non agisce sulla limatura. L'azione ha luogo egualmente per la ripulsione, e il vetro, la carta, il legno, i metalli, ed altri corpi analoghi non alterano l'azione della calamita sui corpi diamagnetici. Nella scuola serve a tali dimostrazioni l'*apparecchio per l'azione delle calamite attraverso i corpi*, consistente in una ruota con fune continua, che si accavalla ad un asse verticale, su cui è impiantata una calamita a ferro di cavallo. Superiormente ai poli corrisponde un sostegno pei dischi delle diverse materie da essere poste alla prova. La calamita, fatta ruotare, agisce attraverso quelle materie ed attrae la limatura di ferro, che riposa sulle medesime.

1612. Accostando un polo della calamita alla paila del pendolo magnetico, ci accorgiamo tosto che la deviazione dalla verticale s'accresce a misura che diminuisce la distanza. La forza magnetica dunque nella sua azione ha qualche relazione colla distanza. Ma qual legge seguono l'attrazione e la ripulsione magnetica colle distanze? Newton coll'analisi matematica aveva dedotto che *la forza magnetica decresce in ragione della terza potenza della distanza* (2). La questione fu per molto tempo agitata, ed alcuni fisici imaginarono i mezzi più sicuri

(1) Gilbert, *De Magnete*, lib. II, cap. 16, e *Saggi di naturali esperienze dell'Accademia del Cimento*, edizione citata, pag. 138.

(2) *Philosophiae naturalis principia* ecc., coroll. 5, della prop. sesta, lib. III.

per iscioglierla coll'esperienza. Una numerosa serie d'indagini indussero il portoghese Dalla Bella a stabilire che, entro certi limiti, *la forza magnetica decresce in ragion del quadrato della distanza*, alla quale legge fu poscia data maggior estensione dal francese Coulomb e infine confermata dall'italiano Bidone (1). La legge fu dimostrata con apparati ed esperimenti diversi. Per addurre qualche prova coi metodi più acconci da noi conosciuti, riportiamo le due sperienze seguenti:

I. Un ago di prova della lunghezza di 27 millimetri, sospeso a filo di bozzolo e difeso dall'agitazione dell'aria, fece 15 oscillazioni in 1' in virtù del magnetismo terrestre. A questa forza si è poscia aggiunta quella d'un filo d'acciaio magnetizzato, lungo circa decim. 6,8 e grosso millim. $3\,^1/_3$ e disposto verticalmente nel meridiano magnetico col polo agente 3 centimetri superiore al piano dell'ago, essendosi questa riconosciuta la posizione per ottenere il maggior effetto. Nella prima sperienza, alla distanza 4 (poll.) dal filo, l'ago compì 41 oscillazioni in 1'; nella seconda alla distanza doppia 8 ne perfezionò 24 pure in 1'. Chiamando P la forza esercitata dal solo filo alla distanza 4 e Q quella spiegata alla distanza doppia, si ha dalle formole precedenti (§. 1610). $\frac{P}{Q}=\frac{(41)^2-(15)^2}{(24)^2-(15)^2}$, ossia $\frac{P}{Q}=\frac{1456}{351}$. Dunque le due forze P, Q stanno come 1456 : 351 o prossimamente come 4 : 1, mentre le loro rispettive distanze erano di 1 : 2: il che significa che *la forza magnetica è in ragion inversa del quadrato della distanza*. Essendo l'ago assai corto rapporto al filo magnetizzato, ed avendo i due poli un'azione cospirante su quella dell'ago, le distanze del filo si sono contate partendo dal mezzo dell'ago medesimo.

II. Operando colla bilancia magnetica (§. 1609), si è dapprima valutata l'azione terrestre sull'ago mobile, e si è trovato che 35 gradi di torcimento del filo di sospensione erano equivalenti ad 1° di deviazione dell'ago mobile dal meridiano magnetico. Si è poscia presentato ad un polo dell'ago quello omonomo d'un filo d'acciaio simile al precedente, il quale ha repulso il primo alla distanza di 24°. Si torse in seguito il filo di sospensione per 3 circonferenze, portando l'ago mobile a soli 17° di distanza dal filo d'acciaio. Risulta dunque

(1) Le numerose indagini di Dalla Bella si veggono nelle *Memorie della R. Accademia di Lisbona* degli anni 1768 al 1783; quelle di Coulomb nelle *Memorie dell'Accademia di Parigi* del 1785 in avanti, e quelle di Bidone nelle *Memorie della R. Accademia di Torino* del 1811

alla distanza di 24 la forza repulsiva espressa da 35 volte 24 o 840 per equilibrare l'attrazione del globo, più altri 24 gradi di torcimento, cioè in totalità 864; ed alla distanza di 17 è equivalente a 3×360+35×17+17, ossia 1692. Alle distanze 24 e 17 le forze magnetiche hanno quindi il rapporto di 864 : 1692 ossia prossimamente di 1 : 2; ed appunto i quadrati di 24 e 17 stanno come 2 : 1; cioè *la forza in ragione inversa dei quadrati delle distanze.*

1613. Le calamite, oltre far parte di alcuni strumenti delle scienze e delle arti, si adoprano a separare le particelle ferruginose mescolate con materie di qualche pregio. Parimenti nelle grandi officine del Belgio vedesi una forte calamita, cui i tornitori ed altri lavoratori in ferro presentano l'occhio per levarne le scaglie, che s'introducono talvolta in qualche parte di quell'organo delicato (1). Poderose calamite potrebbero egualmente riuscire utili per estrarre proiettili di ferro conficcati nel corpo d'una persona ferita. Osserviamo inoltre che la forza magnetica agendo sull'acqua, alcoole, zucchero, sulle carni fresche e secche e molte altre materie diamagnetiche, che fan parte della machina animale (1580), potrebbe riuscire utile nella guarigione di alcune affezioni morbose, come sarebbero il mal del chiodo detto dai Francesi *tic* doloroso, le palpitazioni, i dolori spasmodici ecc.

Sul principio del trascorso secolo la virtù magnetica era poco conosciuta e circoscritta soltanto ad alcune persone della scienza. Il ciarlatanismo ne trasse profitto per eccitare, con diversi giuochi, la meraviglia negli uomini ignari della fisica e per suscitare le più strane idee nel volgo. Quei giuochi sono tutti fondati sul noto teorema che i poli eteronomi, detti comunemente *amici*, si attraggono e gli omonomi, chiamati *nemici*, si respingono (§ 1507); e che inoltre la forza magnetica esercita la sua azione attraverso i corpi (§ 1611). Con questi due principii è facile comprendere gli effetti che si producono. Certe figurine, di sottili lamine metalliche, rappresentano pesci ed altri animali galleggianti sull'acqua e sono fornite nell'interno della bocca di piccola calamita. Una sottile verga magnetizzata, talvolta bizzarramente foggiata, porta al polo amico un pezzetto, per es., di mollica di pane, e si presenta alla figurina, che ne è attratta e sembra accorrere a prendere quel cibo, mentre fugge quando le si rivolge il polo opposto. Dischi di cartone tengono congiunta inferiormente una sottile lamina magnetizzata e sono girevoli orizzontalmente sopra un perno. Verso la periferia portano lettere e cifre, che si ve-

(1) *Annali di fisica ecc.* più volte citati t. XIX pag. 11[illegible]

dono soltanto quando corrispondono al foro del coperchio della scatoletta, dove ciascuno è rinchiuso. Al disotto del tavolo su cui riposano, è congegnata altra calamita, che ruota a volontà del giuocolatore, il quale fa comparire per tal modo la lettera o la cifra che gli si richiede.

1614. Il meridiano magnetico non coincide generalmente con quello geografico od astronomico (§. 1507), e il loro angolo d'intersezione ossia, ciò che torna lo stesso, quello dell'ago col meridiano geografico chiamasi *declinazione magnetica* del luogo della terra, dove si osserva. Nel nostro emisfero la declinazione dicesi orientale se l'ago col braccio boreale devia all'est, ed occidentale se all'ovest. Due aghi calamitati, sospesi liberamente nello stesso luogo a sufficiente distanza per non agire l'uno sull'altro, prendono direzioni sensibilmente parallele. In punti, discosti alcuni gradi di latitudine o longitudine, non si ha più il parallelismo; per cui ad ogni luogo corrisponde un particolar meridiano magnetico.

Abbiasi un ago infisso pel suo centro di gravità in un asse orizzontale e girevole nel piano verticale del meridiano magnetico. esso si equilibra in qualunque posizione, sia orizzontale o verticale od inclinata; ma dopo essere calamitato ne prende una determinata deviando più o meno dall'orizzonte. L'angolo, che l'ago calamitato così disposto fa coll'orizzonte, chiamasi *inclinazione magnetica*. Si formano, a dir vero, quattro angoli eguali due a due, di cui si prende un acuto per l'inclinazione del luogo; talchè questa è sempre minore di 90°. Partendo da Nizza, si passi per Torino, Basilea, Coblenza, Cristiania, dirigendosi alle regioni polari, e si troverà che l'inclinazione va sempre più aumentando: dove risulta di 90°, ivi risiede il *polo magnetico boreale* della terra, che non coincide coll'astronomico. Se invece da Nizza, attraversando il Mediterraneo, si passi a Bona nell'Algeria o per l'Africa si avvicini all'equatore, l'inclinazione diminuisce e si perviene in punti dove è zero, appartenenti all'equatore magnetico. Progredendo nell'emisfero opposto, l'inclinazione dell'ago incomincia dal braccio australe ed aumenta colla latitudine, sinchè giunge al massimo di 90°, dove corrisponde il *polo magnetico australe* della terra.

Dante parla della direzione dell'ago, scoperta da Flavio Gioia (§. 1506), come di cosa generalmente nota a'suoi tempi; giacchè la usa in una similitudine poetica là dove dice che si volse come *l'ago alla stella*, la polare (*Parad.* c. XII, v. 29). La declinazione però fu scoperta molto tempo dopo da Cristoforo Colombo (§. 1507), e l'inclinazione osservata 85 anni più tardi dall'inglese Roberto Normann

La declinazione e l'inclinazione variano non solo nei differenti punti della terra, ma nello stesso luogo a diverse epoche, interessa quindi di conoscere gli strumenti per misurarle.

1615. Lo strumento, per riconoscere la deviazione dell'ago magnetico, prende il nome di *bussola di declinazione*. Anticamente consisteva in un recipiente pieno d'acqua, su cui galleggiava una lammetta di sovero, che portava l'ago calamitato e lo lasciava mobile orizzontalmente per prendere la sua posizione naturale. Si mise poscia l'ago in bilico sopra un perno piantato nel centro del fondo di una scatoletta di rame, chiusa con coperchio di talco o di vetro (fig. 501), congegnandolo ad una leva, col premerne un braccio si solleva e s'impedisce così il consumo della punta del perno contro la pietra dura del cappelletto, quando si tiene in riposo. Il cerchio è applicato sul fondo e serve alla misura della declinazione. Si dispone la scatoletta col diametro principale del circolo nella direzione del meridiano geografico, e il numero dei gradi, che indica l'ago, ne dà la declinazione. È questa la bussola comune, che si usa anche oggidì ma che nelle valutazioni non è suscettibile di quell'esattezza, che richiede la scienza.

Se ne ha la misura rigorosa colla bussola rappresentata nella fig. 502, dove l'ago è rinchiuso nella scatoletta posta sui piedi a vite V per renderla orizzontale. Due cerchi di rame concentrici, l'uno mobile dentro l'altro, sono congegnati verso il fondo: sul primo si legge la divisione corrispondente all'estremità dell'ago, ed il secondo, munito di due nonii diametralmente opposti di cui uno è *n*, si muove sopra un asse solido indipendentemente ed attorno al primo, che è sostenuto da alcuni raggi ed è detto *cerchio azimutale*. Sull'asse orizzontale *ab*, parallelo al cerchio degli azimuti, havvi fisso il cannocchiale CC, che ruota in un piano verticale, e le cui inclinazioni si misurano dall'arco laterale A munito di nonio e danno l'angolo della visuale coll'orizzonte. Si dispone orizzontalmente il piano della bussola, e si gira il cerchio mobile per portar nel campo del cannocchiale un astro conosciuto, di cui si osserva l'altezza. Notando contemporaneamente la divisione corrispondente del cerchio dell'ago e quella del cerchio degli azimuti, si ha l'angolo del meridiano magnetico colla verticale dell'astro al momento dell'osservazione. Mediante le formole, che insegna l'astronomia, si trova l'angolo della verticale dell'astro col meridiano del luogo per dedurne la declinazione.

L'operazione si eseguisce in luogo aperto lontano dagli oggetti che possono influire sull'ago magnetico. È necessario altresì che la linea

di congiunzione dei poli o l'asse magnetico dell'ago coincida coll'asse di figura. Imperocchè le indicazioni si riferiscono a quest'ultimo, il quale, se non coincidesse col primo, darebbe un risultato erroneo Per assicurarsi che i due assi si confondano, si rivolti l'ago e, posto in bilico sulla faccia opposta, si osservi se prenda la medesima posizione.

1616. Gli agrimensori hanno congiunto alla tavoletta pretoriana una bussola, che loro serve a dare la dovuta direzione alle linee nei levamenti dei terreni. Allorquando levano l'andamento d'un fiume, d'una strada ecc., ossia determinano gli angoli che i diversi tronchi o rami rettilinei fanno a destra od a sinistra, la bussola ha unito un cannocchiale C per condurre le visuali lungo ogni tratto e per avere dall'ago magnetico l'angolo che fa col precedente (fig. 503). Nello scavo delle miniere la bussola serve pure ad operazioni consimili.

I più grandi servigi della bussola furono prestati alla navigazione, mettendo in comunicazione, a vantaggio del commercio e della società, i popoli dei diversi continenti e gli abitanti di lidi lontanissimi. Gli antichi erano costretti di navigare lungo le coste, ed i loro viaggi per mare furono assai lenti e limitati Si narra che i Fenici, nel far il giro intorno all'Africa per portarsi dal Mediterraneo nel Mar Rosso, impiegarono tre anni, viaggio che coi battelli a vapore si compisce oggidì in meno d'un mese. I navigatori, nelle immense solitudini dei mari, non avevano altra guida che gli astri, e principalmente una delle stelle polari, non potendo, durante i giorni nebbiosi e nuvolosi, avventurarsi senza veruna direzione al proseguimento del loro cammino. La *bussola marina* o *compasso di mare* ha la scatola sospesa col congegno di Cardano (§ 304) e più profonda, onde abbassarne il centro di gravità e far in modo che prenda facilmente da sè la posizione orizzontale a malgrado delle oscillazioni della nave (fig 504). La bussola è inoltre fornita di due traguardi, pei quali si dirige la visuale quando si vuole mettere a confronto il meridiano magnetico colla posizione di qualche astro noto.

1617. Per aver idea della *bussola d'inclinazione* si esamini la figura 505: *aa* è l'ago magnetico infisso pel suo centro di gravità nell'asse orizzontale, su cui è liberamente mobile. Le sue estremità nella rotazione trascorrono accanto alla periferia del cerchio verticale *bb*, diviso in gradi e frazioni di grado. L'insieme è sostenuto da un telaio connesso al cerchio orizzontale degli azimuti, il quale è mobile dentro altro cerchio concentrico, che ne forma la base appoggiata sopra un albero solido con tre piedi a vite. Si dispone per l'o-

servazione lo strumento col cerchio verticale nell esatta direzione del meridiano magnetico, indicato dalla bussola di declinazione. L'ago, dopo alcune oscillazioni, si mette da sè nella posizione stabile, che determina l'inclinazione del luogo. Si noti questo primo risultato, e poscia si rivolti l'ago senza capovolgerne i poli, e s'istituisca una seconda osservazione per correggere le irregolarità di magnetizzazione e l'eccentricità di sospensione dell'ago. Affine di compensare del tutto queste due cause d'errore sono necessarie altre due osservazioni somiglianti collo stesso ago, cui si siano invertiti i poli calamitandolo di nuovo (§. 1602). La media delle quattro osservazioni dà l'inclinazione richiesta.

1618. La declinazione e l'inclinazione magnetica differiscono nei diversi luoghi della terra. Nell'anno 1825 la declinazione era per es., a Venezia di 17°. 52' ovest, a Milano di 18°. 45', ed a Parigi di 22°. 22'. La declinazione, ben anche alla stessa latitudine, è più o meno grande secondo i differenti luoghi, in alcuni dei quali è all'ovest in altri all'est, e si danno dei punti dove si riduce a zero. La più grande declinazione dell'emisfero boreale è stata osservata dal capitano Cook alla latitudine di 70°. 19' ed alla longitudine orientale di 161°. 1' dal meridiano di Parigi, avendola trovata di 36°. 19' est, mentre la più grande dell'emisfero australe risultò allo stesso capitano, a 60°. 59' di latitudine e 95°. 45' di longitudine occidentale, di 43°. 45' ovest. L'inclinazione nel 1820 era a Milano di 60°. 33', a Parigi di 67°. 41' a Tobolsk di 78°; e così in generale crescente colla latitudine ed all'inverso, talchè si trova nulla in alcuni luoghi dirigendosi verso l'equatore ed aumenta progredendo verso i paesi settentrionali, dove si avvicina sempre più alla verticale, da cui si deduce che in quelle regioni risiede uno dei poli magnetici della terra.

La declinazione e l'inclinazione non bastano a far conoscere la forza totale del magnetismo terrestre nei diversi luoghi. Colle medesime si ha soltanto la *direzione* e non l'*intensità della forza magnetica*. Si è veduto come si determina la componente orizzontale (§. 1607), adoperando l'ago magnetico come il pendolo nella determinazione della gravità (§. 400). La forza magnetica può risolversi, come qualunque altra forza, in due componenti, che siano l'una orizzontale e l'altra verticale. La prima diventa tanto più grande quanto più la forza totale, rimanendo invariabile la sua intensità, si avvicina all'orizzonte cambiando posizione, vale a dire quanto più è piccola l'inclinazione. Ecco quindi come si suol distinguere la forza magnetica orizzontale dalla forza totale. Questa si determina collo stesso

metodo della prima, facendo oscillare l'ago d'inclinazione; oppure, data la forza orizzontale d e l'inclinazione i colla formola $\frac{d}{\cos. i}$ da cui è espressa (§ 264). Siccome poi dalla trigonometria si sa che la secante eguaglia l'unità divisa pel coseno, così la forza assoluta sarà anche espressa da d. sec. i, e per un altro luogo da D. sec. I, ammettendo le analoghe denominazioni. Le forze magnetiche assolute dunque, di due luoghi o dello stesso luogo a diverse epoche, staranno nel rapporto d. sec. i : D. sec. I. Per fare qualche applicazione, determiniamo la forza magnetica assoluta x di Pietroborgo relativamente a quella di Berlino detta 1, servendoci dei dati delle osservazioni di Erman. Nella prima città le oscillazioni dell'ago orizzontale in 1' risultarono di 18,6997 ed a Berlino di 19,3611, essendo le rispettive inclinazioni di 71°. 12' 25" e 68°. 9'. 30". Dalla proporzione quindi 1 : x :: d. sec. i : D. sec. I, sostituendo quei valori e ritenendo essere le forze orizzontali d, D espresse dai quadrati dei numeri delle rispettive oscillazioni (§ 1007), si ha

1 : x :: (19,3611)² sec. 68°. 9' 30" : (18,6997)² sec. 71°. 12' 30",

ossia 1 : x :: 374,852. sec. 68°. 9' 30" : 349,679. sec. 71°. 12' 30". Prendendo i logaritmi e facendo le riduzioni si ha $\log. x = 0,0325498$, da cui $x = 1,077$, vale a dire che a Pietroborgo la forza magnetica assoluta è di 1,077 quella di Berlino presa come unità. Chiamando 1 la forza totale all'equatore, Humboldt e Gay-Lussac la trovarono per l'Italia a Milano di 1,3121, a Roma di 1,2745 ed a Napoli di 1,2642. L'intensità magnetica diminuisce elevandosi sopra la terra: infatti Mauvais ha trovato che, essendo 1000 al piede del monte Canigu, all'altezza di 2175 metri sul medesimo risultò di 988 (1). Un ago d'acciaio, che sta in bilico orizzontalmente sul suo centro di gravità, venendo magnetizzato, più non conserverà quindi la posizione orizzontale in quei luoghi, dove l'inclinazione non è nulla. Le diverse osservazioni magnetiche dimostrano che la *forza totale* e l'*inclinazione* subiscono nei diversi punti della terra dei cambiamenti, che sono per ambedue sempre egualmente in più od in meno, mentre la *declinazione* può diminuire od accrescere nel tempo che le due prime seguono una variazione contraria.

1019. Il magnetismo prova eziandio nel medesimo luogo delle variazioni, le quali sono *diurne*, *mensuali* ed *annuali*. Le osservazioni magnetiche stazionarie s'istituiscono con apparecchi congegnati dal

(1) *Annali di fisica ec.* per vol. citato, Fasc. ..., pag. 77.

celebre Gauss, sotto la cui direzione si eresse da non molti anni a Gottinga una specola magnetica, nella cui costruzione non s'impiegò verun pezzo di ferro, essendosi supplito a questo metallo col rame. Egli, invece di sottili aghi, adopera verghe d'acciaio magnetizzate della lunghezza di 61 centim., della larghezza di 3,7 e della grossezza di 1, sospese orizzontalmente ad una ciocca di 200 fili serici paralleli e non torti, della lunghezza di metri 2,3. Questi grandi aghi magnetici riescono mobilissimi e provano tanto poco la resistenza dell'aria che continuano per molto tempo le oscillazioni. Alla loro estremità sono forniti d'uno specchietto piano, dal quale è riflessa l'imagine della scala illuminata, posta al disotto d'un cannocchiale situato alla distanza di alcuni metri dall'ago. In tal guisa i gradi delle deviazioni sono ingranditi in ragion del maggior raggio, e l'osservatore non ha bisogno d'avvicinarsi all'apparato. L'ago è difeso da una custodia di legno per una cui apertura si vede lo specchietto. Apparati consimili a quello di Gauss si attivarono a Milano, a Torino, a Napoli ed in altre città d'Italia. Ma per metterli a profitto è necessario un certo numero di persone interamente consacrate alle osservazioni. Stambucchi, Della Vedova e Kreil si occuparono con grande amore e diligenza dell'esame dei fenomeni magnetici (1). Kreil, trasferito a Praga, eresse anche colà i nuovi apparecchi e si dedicò con novello ardore a tal sorta d'indagini, pubblicandone i risultati in alcuni volumi ricchi di molta dottrina e di nuove viste scientifiche (2). In queste ed in altre città d'Europa (3) si fanno delle osservazioni, le quali per cura dei governi d'Inghilterra e di Russia si sono estese nella Cina, alle Indie Orientali, alla Nuova Olanda, in Siberia ed in altre parti dell'Asia o dell'America (4), essendosi di alcune già pubblicati i risultati (5). In Italia bisognerebbe che ogni stabilimento fosse provveduto del personale necessario, e che le osservazioni magnetiche, unitamente alle meteorologiche, s'istituissero con un piano uniforme, come propose Antinori al Congresso di Pisa (*Annali*, t. I, 180).

La declinazione non rimane stazionaria durante il giorno, ma varia verso l'est o l'ovest del meridiano magnetico. Queste variazioni succedono d'ordinario con movimenti regolari e periodici e talvolta con

(1) *Osservazioni sull'intensità e sulla direzione della forza magnetica*, istituite nel 1836, 1837 e 1838 al R. Osservatorio di Milano. Opusc. in 4°.

(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XIII, pag. 301 e t. XV, pag. 198.

(3) *Annali* suddetti, t. II, pag. 64 e 185, e t. XII, pag. 319.

(4) I medesimi *Annali*, t. I, pag. 180 e t. II, pag. 24.

(5) Gli stessi *Annali*, t. XVI, pag. 303 e t. XXIV, pag. 171.

repentini ed accidentali. Nel primo caso si hanno le *variazioni orarie* dell'intero giorno, nel secondo le *perturbazioni*. Dalle osservazioni istituite a Milano cogli apparati descritti, si deduce che la declinazione è minima dalle ore 8 alle 10 antimeridiane, e va crescendo sino a raggiungere il punto massimo verso le 4 e le 5 pomeridiane, dopo cui ritorna a scemare sino al seguente mattino.

Del resto le osservazioni magnetiche, istituite in altri punti del globo da Hansteen, Humboldt, Duperrey ecc. stabiliscono che il tempo della minima declinazione ovest oscilla fra le 6 e le 9 ore antimeridiane anticipando nell'estate in confronto dell'inverno, e quello della massima accade verso le ore 1 ¼ pomeridiane essendo indipendente dalle stagioni. L'amplitudine dell'arco di variazione giornaliera dal minimo al massimo è più considerabile nell'estate che nell'inverno, ascendendo in termine medio nell'ottobre e novembre a 10'. 10",5, nel dicembre sino a febbraio a 6' 45",4, nel marzo al maggio a 13'. 15",2, nel giugno sino all'agosto a 14' 57",2. Nel 1830 Dove a Berlino riscontrò nella variazione giornaliera una diminuzione più lenta e poscia più celere, la quale in termine medio fu in settembre di 9' 56", in ottobre di 9' 16" e in novembre di 6' 11" (Wörterbuch, v. 1103). Le oscillazioni di declinazione durante la notte sono insignificanti. Secondo le osservazioni di Cassini l'ago di declinazione prova, alla profondità di 30 metri sotto terra ed al coperto d'ogni influenza di luce e di calore esterno, le eguali variazioni diurne come quello posto sopra il suolo. Si verificano eziandio nei luoghi, dove la declinazione è all'est, come risulta dalle osservazioni di Humboldt, Kupfer e Boussingault. La declinazione, essendo di 7° 33' est a Morato nella Colombia, giunse al minimo verso le ore 7 antimeridiane, e poscia incominciò a crescere per diminuire di nuovo sino al seguente mattino. Le variazioni orarie riescono maggiori in amplitudine nelle regioni più settentrionali, e minori a misura che i paesi si accostano all'equatore. L'inclinazione è soggetta pure a variazioni orarie, le quali accadono presso che allo stesso tempo di quelle della declinazione, ma esse hanno meno amplitudine nei loro movimenti. Parimenti l'intensità magnetica diventa minima nelle ore antimeridiane, ed incomincia poscia a crescere verso le 8 per raggiungere il massimo ad 1 ora pomeridiana e ritornare al minimo nel mattino del seguente giorno.

Le variazioni mensuali ed annuali furono recentemente verificate in Italia da Stambucchi, Della Vedova e Kreil, e nei paesi esteri da Humboldt, Gauss ed altri. I risultati ottenuti dai tre osservatori sum-

nominati fanno conoscere che la declinazione nel 1836 a Milano è andata crescendo dal mese di gennaio fino all'aprile, in cui salì al massimo; da quest'ultimo mese sino al termine dell'anno continuò a scemare senza interruzione. Nel 1837 invece l'aumento si protrasse sino al mese di giugno e nel 1838 sino al maggio inclusivamente. Il decremento nel resto dell'anno avvenne molto più rapidamente dell'aumento. Da alcune osservazioni istituite contemporaneamente all'Aja, a Gottinga, a Marburgo, a Lipsia, a Monaco, a Milano ed a Catania dal novembre 1835 a tutto gennaio 1836, risulta che le variazioni di declinazione, talvolta assai rapide, succedono nello stesso momento in luoghi di posizione molto differente, scemando però in grandezza secondo la latitudine geografica. Nella sera del 30 gennaio tra le ore 9. 15' e le 9. 35' l'ago magnetico s'accostò tutto ad un tratto al meridiano geografico in modo che la declinazione scemò a Catania di 11'. 0'', a Milano di 12'. 20'', a Monaco e Lipsia di 15'. 20'', a Marburgo di 19'. 40'', a Gottinga di 25'. 0'' ed all'Aja di 28'. 40''. L'ago a Parigi avanti il 1678 declinava verso l'est, e in quell'anno, dopo essere passato per lo zero, deviava verso l'ovest come al presente. A Milano per parecchi anni, incominciando dal 1807, la declinazione ha oscillato fra i 17° e 19° ovest, lo stesso a Pavia ed a Padova. A Monaco negli anni 1841, 1842 e 1843 la declinazione ha oscillato tra i 16° $^3/_4$ ed i 17°. L'inclinazione e l'intensità magnetica subiscono pure delle variazioni mensuali ed annuali.

1620. Fra i diversi fenomeni atmosferici, tellurici e cosmici, che producono delle perturbazioni nell'ago magnetico ed alterano le variazioni orarie, si è riscontrato che il più influente è l'aurora boreale. Nel giorno 18 ottobre 1836 fu visibile a Milano un'aurora boreale, e la declinazione subì una repentina diminuzione di più di 5'. Perturbazioni più forti accaddero nei giorni 22 e 23 aprile dello stesso anno: fra le ore 8 e le 9 del mattino di quest'ultimo giorno, l'ago deviò rapidamente di 39' dalla sua posizione allontanandosi dal meridiano geografico; eguale perturbazione fu osservata nello stesso giorno a Gottinga. Quantunque non siasi avuto a Milano verun indizio di luce boreale, si seppe poscia dai giornali che un'aurora era comparsa nel giorno 22 di quel mese a 46° 25' di latitudine settentrionale e 44° longitudine est dal meridiano di Parigi. Si è osservato che l'agitazione dell'ago continuò durante tutto il tempo, che durò il fenomeno. Le rapide oscillazioni dell'ago sono d'ordinario indizi di aurore boreali, quantunque non riescano visibili nel luogo delle osservazioni magnetiche. In tal maniera l'osservatore nel suo gabinetto è avvertito d'un fenomeno

che succede a migliaia di leghe distante da lui ed ordinariamente verso le regioni polari. Le stelle cadenti, hanno un'intima relazione colle aurore boreali (1). Nel giorno 14 novembre 1837 si videro a Milano molte stelle cadenti, e nell'ago magnetico si osservarono dei movimenti descrivendo degli archi di grande amplitudine. L'azione dell'aurora boreale sull'ago calamitato fu osservata la prima volta da Hiorter ad Upsala nel 1747, mentre nel 1722 Graham a Londra si accorse delle variazioni diurne.

Sembra che il terremoto eserciti qualche azione sull'ago magnetico. Stambucchi e Kreil nel 20 luglio 1836 s'accorsero d'un'insolita agitazione dell'ago, e nello stesso giorno furono sentite verso mezzodì alcune scosse a Milano ed in molti luoghi dei dintorni. Nel 2 gennaio 1838 osservarono pure delle grandi perturbazioni e seppero poscia che forti scosse di terremoto accadero in quel giorno nella Moldavia e nella Transilvania, che si estesero eziandio nella Russia. Lo stesso si dica dal 9 al 10 ottobre 1838, nel qual tempo si provarono gli effetti del terremoto a Fiume ed in altri luoghi lungo le coste dell'Adriatico, di cui si ebbero indizi da perturbazioni nell'ago magnetico alla specola di Milano. La più antica osservazione di quest'influenza è quella, di cui accenna Bernoulli nel 1767. Si noti altresì che il 25 gennaio 1828, nelle miniere di carbon fossile di Wiesh presso Muhlheim sul fiume Ruhr circa [illegible] metri sotto il livello del mare a 140 sotto la superficie del suolo e 467 dal pozzo d'ingresso alla miniera, Zobel si occupava di alcune operazioni col mezzo della bussola, e verso le ore 8 ½ alle 9 antimeridiane osservò nell'ago di questa dei movimenti così stravaganti, che gli impedirono di servirsene per la misura degli angoli. L'amplitudine di queste oscillazioni giungeva sino a 180°, ed alcune si manifestarono anche nell'inclinazione. Queste perturbazioni durarono da 15' a 20'. Zobel seppe poscia che fu sentita nello stesso tempo una scossa di terremoto, la quale per altro non fu sensibile nelle altre miniere che si distendono da Muhlheim lungo quel fiume, mentre fu notabilissima ad Essen, a Bochum, e debolissima a Dortmund, dove le scosse avevano la direzione dall'est all'ovest.

L'eruzione dei vulcani sembra pure capace a perturbare l'ago magnetico. Infatti il prof. Della Torre nel trascorso secolo ha notato in Napoli un cambiamento considerabile nella direzione dell'ago durante l'eruzione del Vesuvio, e più recentemente nel 1839, Capocci

(1) *Annali di fisica* ecc., t. II, pag. 262 e 286.

osservò la diminuzione di mezzo grado nella declinazione dell'apparato magnetico della specola di Napoli in consimile occasione. Dalle osservazioni finora fatte non si è mostrata veruna influenza sull'ago magnetico in causa dei temporali e della folgore, a meno che questa agisca direttamente o per attuazione sull'ago medesimo, il quale si sa che può perdere il suo magnetismo ed averne ben anche rovesciati i poli (§ 1511).

1621. Non farà maraviglia se le pietre meteoriche o gli areoliti, come composti di grande quantità di ferro, perturbassero talvolta le indicazioni dell'ago calamitato. Il [illegible] in generale di masse di ferro, in vicinanza del luogo di osservazione, può indurre nei risultati delle notabili variazioni. Ai vascelli ed ai bastimenti sono congiunte grandi quantità di questo metallo, le quali o fanno parte della loro costruzione rimanendo fisse, oppure servono all'armatura di quegli edifizi navali riuscendo più o meno mobili, come sarebbero i cannoni di ferro o di ghisa, le àncore, le grandi gomene intrecciate di fili di ferro, alcuni recipienti cerchiati e gli strumenti di qualunque sorta. Tutti questi corpi magnetici esercitano infatti un'azione considerabile sull'ago della bussola marina (§ 1616). È quindi di grande importanza per la navigazione di saperne valutare l'influenza, di cui sopra ogni altro si è occupato Barlow.

L'ago della bussola nautica [illegible] provare l'influenza dei corpi semplicemente magnetici, dei corpi che divengono temporaneamente magnetizzati sotto l'azione della terra, e dei corpi infine che ritengono il potere della calamita in virtù della loro forza coercitiva. La bussola è collocata nell'*abitacolo* o camerino del pilota che governa il timone della nave, fatto di legno senza verun ferro. Grande influenza non esercitano quei corpi, che in presenza dell'ago prendono il potere magnetico temporario e gli altri di cui ne sono dotati permanentemente. Essi infatti in causa della distanza, assai grande relativamente alla lunghezza dell'ago, formano una coppia di forze eguali e contrarie, in cui la risultante è zero (§ 278). La maggiore azione è esercitata dai corpi che, nelle diverse posizioni del bastimento, acquistano il potere magnetico sotto l'influenza della terra. L'insieme di tutti questi corpi costituisce una calamita a poli cangianti, nel rivolgersi il bastimento in uno od in altro verso, la cui azione influisce in modo differente sull'ago calamitato e diventa ancor più complicata, quando durante lunghi viaggi passa il naviglio successivamente per regioni dove variano il meridiano e l'intensità magnetica. Siccome colla teorica non si giunge a riconoscere le forze per compensare cause per

turbatrici così variabili, così Barlow ha insegnato la maniera di valutarne gli effetti mediante l'esperienza.

Essendo il vascello in acqua tranquilla per poterlo facilmente voltare a destra ed a sinistra o, come si dice in termine marinaresco, *virare di bordo*, si sceglie a qualche distanza sulla riva un luogo, donde si veda in tutte le posizioni che prende voltandolo dall'una o dall'altra parte. Due osservatori, muniti ciascuno di bussola e teodolite, sono collocati, l'uno al punto stabilito sul terreno e l'altro all'abitacolo della nave. Ad un dato segnale, essendo i cannocchiali dei loro strumenti diretti nella stessa retta, misurano l'angolo che con questa fa l'ago della loro bussola. Se quello del bastimento non provasse veruna perturbazione come l'altro sul terreno, i due angoli risulterebbero eguali e gli aghi paralleli; giacchè, trovandosi fra loro ad alcune centinaia di metri di distanza, non possono produrre per la loro azione reciproca dei cambiamenti sensibili nella declinazione. La differenza dunque degli angoli osservati eguaglierà la deviazione prodotta dai corpi magnetici del vascello in quella data posizione. Voltando la nave successivamente per differenti angoli sino a farle compiere l'intiera rivoluzione, si ripeta ogni volta l'osservazione precedente determinando egualmente la differenza dei due angoli delle bussole colla linea centrale dei cannocchiali, e si avrà così il valore della deviazione dell'ago prodotta dall'influenza dei corpi magnetici del vascello nelle diverse sue posizioni rispetto alla terra. Col metodo delle interpolazioni si calcoleranno al bisogno le deviazioni rispettive dovute ad ogni grado di rivolgimento della nave.

Determinate in tal guisa le deviazioni dell'ago prodotte dall'azione dei corpi sul bastimento, Barlow per valutarle facilmente in ogni caso ha imaginato un congegno detto *compensatore magnetico*. Il medesimo si compone della verghetta cilindrica *c* di rame, grossa cent. 3,5 in 4 (fig. 306), e di due dischi di ferro *d*, *d* del diametro di 30 in 33 e di grossezza tale che ogni decim. quad. risulti del peso di gram. 146,5 (1 piede quadrato inglese 3 libbre). I due dischi sono separati da una rotella di cartone e compressi l'uno contro l'altro, al centro dal dado a vite sulla verghetta di rame ed agli orli da tre viti di ferro. La bussola nautica si trasporta sul castello di legno P, collocato col relativo compensatore nel punto dove era posto l'osservatore sulla riva. Il castello può ruotare sopra un piano o un perno verticale corrispondente a quello dell'ago, e nel suo movimento trae con sè il compensatore, il quale agisce diversamente sull'ago nei diversi azimuti, che prende col rivolgimento. Con prove ripetute si giunge a ritrovare

l'altezza, cui deve essere posto il compensatore nei fori del lato del castello, per far subire all'ago le varie deviazioni, che manifestava sul bastimento. Segnando con diligenza la distanza del centro dei dischi dall'ago della bussola, si riporta questa al suo posto sul vascello e si applica il compensatore sul suo basamento alla stessa distanza e posizione che aveva nel castello di prova. In questo secondo luogo l'ago della bussola proverà la doppia azione dei corpi magnetici del vascello e del compensatore. L'eguaglianza dei due effetti ci mette in grado di valutare l'influenza di quei corpi. Infatti si levi il compensatore per osservare la declinazione dell'ago, la quale sarà soltanto variata dall'azione dei corpi magnetici del vascello; e supponiamo che in questa prima osservazione si trovi 35° ovest, mentre nella seconda, quando vi ha applicato il compensatore, diventi di 40° avendosi così l'aumento di 5°. Siccome poi l'effetto di questo ordigno eguaglia l'influenza prodotta dai corpi magnetici del bastimento, così la deviazione in causa dei secondi risulterà pure di 5°, e la vera declinazione si ridurrà a 35°—5°=30°. Che se coll'applicazione del compensatore si avesse un risultato minore, allora ne sarebbe conseguenza che i corpi magnetici diminuiscono la declinazione, e la differenza delle due osservazioni si dovrebbe aggiungere ai gradi della prima per conseguirne la vera misura. Si ricava dunque in generale che *bisogna sottrarre i gradi della seconda da quelli della prima osservazione, ed aggiungere la differenza, presa col proprio segno, alla prima per conseguirne la declinazione richiesta*.

1622. Parecchi abili osservatori si accorsero che nei viaggi di mare i loro cronometri provavano delle variazioni, che non avevano riscontrato tenendoli a terra, salendo a differenze ben anche di 10 e più secondi per giorno. Se ne attribuì la causa all'azione del magnetismo sui diversi pezzi d'acciaio fissi e mobili, di cui si compongono. Lecount e poscia Harvey (1) istituirono delle sperienze, e rinvennero difatti che la calamita non solo agisce sui pezzi mobili del bilanciere, ma eziandio sulle molle motrici. La presenza d'una calamita accelera il movimento del cronometro, allorchè il centro della molla è posto sul prolungamento della linea dei poli. Sui vascelli, i ferri calamitati dall'influenza della terra producono l'egual fenomeno. La causa, che fa variare i cronometri, è dunque la medesima di quella perturbatrice della bussola, per cui si era cercato di applicare pure ai primi

(1) *New month. Magazine*, febb. 1821 ed *Edimburgh Journal*, genn. 1841 pag. 4, ed aprile pag. 312.

un compensatore, ma senza felice successo. Il mezzo più sicuro si è di tenerli sempre nello stesso luogo e lontani dalle grandi masse magnetiche.

1623. Dai numerosi fatti e fenomeni discorsi sarà facile dedurre che il magnetismo è un ramo dell'elettricità dinamica, come altrove abbiamo asserito. Basta di metterli a confronto, di ravvicinarli per esserne pienamente convinti. Questo ramo della fisica è forse quello che più d'ogni altro ha dato occasione al maggior numero di bizzarre opinioni senza verun fondamento. La virtù attrattiva della calamita era da Talete e da Anassagora attribuita ad un'anima, di cui si supponeva dotata. Alcuni filosofi dell'antichità ammettevano che l'attrazione avvenisse per una simpatia, altri per una similitudine di parti ed altri ancora per una differenza fra il ferro e la calamita. Epicuro faceva dipendere l'attrazione magnetica dal convenire gli atomi del minerale con quelli del metallo; mentre Plutarco aveva imaginato attorno alle calamite l'emanazione d'un fluido sottile, capace di fare il vuoto. Più tardi Costèo da Lodi risguardava il ferro come la nutrizione della calamita; Cornelio Gemma voleva che l'azione dipendesse da fili raggianti invisibili (ann. 1535), e Cardano pretendeva che il ferro venisse attratto dalla calamita perchè è freddo (ann. 1563). Notiamo infine che Cartesio adattò i suoi vortici a spiegare anche l'attrazione magnetica.

Dal momento che rinacquero i buoni studi e le scienze sperimentali pei precetti di Bacone da Verulamio e per l'esempio di Galilei co' suoi discepoli, tutte le capricciose ipotesi, tutte le ragioni vuote di senso svanirono. Gl'ingegni più distinti, accorgendosi che a quell'epoca i fatti non erano abbastanza variati e numerosi, si contentarono soltanto ad esporli ed a descriverli, senza inviluppparsi in strane ipotesi. Infatti Gilbert, nel suo trattato *De magnete*, raccolse tutte le verità note a' suoi tempi e si limitò ad annunziare i fenomeni aggiungendovi quelli da lui scoperti; e Galilei, occupandosi della calamita (§ 1598) intravedeva sin d'allora quanto sarebbe accresciuto questo ramo della fisica, là dove dice: *Io non dubito che, col progresso del tempo, si abbia a perfezionare questa nuova scienza* (il magnetismo) *con altre nuove osservazioni e più con vere e necessarie dimostrazioni* (Opere succitate, t. XII, 248). Molti anni dopo Epino riconobbe il bisogno d'un sistema per coordinare i diversi fatti accresciuti di numero ed, a somiglianza dell'elettrico, ammise il *fluido magnetico* suscettibile di condensazione e di rarefazione, che altri vollero composto di due fluidi particolari, il *boreale* e l'*australe*, per dar pure qualche spiegazione dei fenomeni (§. 1598).

1624. La vera teorica del magnetismo prende la data, come si disse, dall'epoca che si scoprì la magnetizzazione del ferro e dell'acciaio e l'azione sull'ago calamitato per le correnti elettriche. Si è veduto che gl'italiani Romagnosi e Mojon furono i precursori di quelle grandi scoperte, definite poscia con molto accorgimento in ogni circostanza da Oersted e da Arago. Alla dotta schiera giustizia vuole che sia aggregato l'altro italiano, il Morozzo, che sino dall'anno 1803 aveva meglio determinato la maniera di magnetizzare colle correnti gli aghi d'acciaio (1). Questi ritrovati fondamentali apersero il varco al francese Ampère per le sue interessanti scoperte intorno all'azione delle correnti sulle correnti, e per le leggi generali dedotte ed applicate anche al conflitto di queste colle calamite, da cui poscia egli fece scaturire la teorica del magnetismo ammessa oggidì dall'universalità dei fisici.

I numerosi fenomeni dell'elettro-magnetismo si accordano in modo sorprendente coll'idea concepita da Ampère, il quale nelle molecole delle calamite riconosce altrettanti centri, intorno a cui circolano le correnti elettriche come nelle coppie voltaiche. Pei centri delle molecole, componenti i diversi elementi longitudinali della calamita, imaginiamo condotta la retta *ab*, in modo da costituire diversi sistemi paralleli fra loro ed all'asse della calamita medesima (fig. 507). Si consideri all'intorno di ciascuna molecola una corrente elettrica incessantemente in moto per una curva rientrante in se stessa, formando un circuito compiuto. I diversi sistemi di molecole formeranno per tal modo altrettanti solenoidi (§. 1537), un fascio dei quali comporrà la calamita colle correnti tutte circolanti per lo stesso verso, e colle forze dirette secondo i loro assi paralleli a quello della stessa calamita. Tutte queste forze compongono una risultante, la quale si può altresì ritenere prodotta da correnti circolanti pel medesimo verso in altrettanti piani paralleli fra loro e perpendicolari all'asse della calamita, coi loro centri posti sull'asse stesso, quando la magnetizzazione sia uniformemente distribuita. È per tal ragione che l'azione magnetica si considera (§. 1539) definitivamente come prodotta da correnti elettriche, che al dissotto della calamita stessa camminano dall'est all'ovest, ed al di sopra dall'ovest all'est, mentre dal lato orientale le stesse correnti sono discendenti e dal lato occidentale ascendenti, come furono indicate colle freccie della fig. 436.

L'idea d'Ampère, avvalorata ora da tanti fatti, era già stata avan-

(1) *Bulletin de Férussac* sc., t. XIV, pag. 308, dove si dà conto della tornata della R. *Accademia di Torino* del giorno 21 gennaio 1827.

sata in Italia sin dal trascorso secolo. Il celebre Beccaria, riflettendo alla virtù magnetica che acquistano l'acciaio ed il ferro in causa delle scariche elettriche come aveva egli stesso dimostrato con parecchie sperienze, ne dedusse, in un tempo ben ancor lontano dalla pila di Volta, *che a particolari colpi degli atmosferici e sotterranei fulmini si dovevano attribuire le particolari forze magnetiche della calamita, e che da qualche universale sistematica circolazione dell'elettrico elemento si dovevano ripetere le universali e sistematiche proprietà dei corpi magnetici* (*Elettricismo artificiale* § 736). Cigna nelle *Miscellanee* della R. Accademia di Torino, t. XI III, parla egualmente della somiglianza dell'azione magnetica coll'elettrica. L'interpretazione dei due distinti fisici italiani è conosciuta eziandio agli stranieri (*Worterbuch* succitato, t. III, 475). D'altronde Nobili, prima d'Ampère, ammettendo un sol fluido sottile, elastico e dotato di somma forza espansiva, attribuì ai moti vibratorii del medesimo ed all'ampiezza delle onde i fenomeni della luce, del calore, dell'elettricità e del magnetismo (1). La scoperta dell'azione della corrente elettrica sull'ago calamitato, lo confermò ancor più nelle sue idee teoriche (t. III, 315). Alla pubblicazione della teorica d'Ampère, Nobili dissentiva da lui sulla circolazione delle correnti parziali alle molecole delle calamite ed ammise solamente la circolazione in massa, cioè in circoli concentrici gli uni agli altri e perpendicolari agli assi delle calamite, volendo che queste correnti circolari vadino decrescendo dal mezzo alle estremità dell'ago, come seguirebbe in una spirale fusiforme (2).

1623. Lo svolgimento delle correnti magnetiche è la conseguenza di tanti mezzi ora conosciuti per eccitare l'elettrico, ed ha in suo favore la grande analogia di molti fenomeni, per cui riesce conforme ai principii della sana filosofia. D'altronde non deve far meraviglia se le correnti delle calamite non producono degli effetti chimici (§ 1588), sapendosi che questi soltanto si ottengono allorchè la materia è introdotta nel circuito. Lo stropicciamento poi e parecchi altri mezzi meccanici, come pure l'adesione, l'azione molecolare, il calore, la luce e la stessa elettricità, sono capaci di svolgere l'elettrico dai corpi e di tradurlo in correnti istantanee o continuate. Si osservi inoltre che i corpi si prestano in differenti maniere e in diverso grado, secondo

(1) *Introduzione alla meccanica della materia.* Milano 1819. *Nuovo trattato d'ottica* 1820, e *Nuovi trattati sopra il calore, l'elettricità e il magnetismo* 1822. Tre volumi.

(2) *Questioni sul magnetismo.* Modena 1824, pag. 3.

le loro qualità, a lasciar libero il proprio elettrico. In alcuni è diretto in correnti continue, mentre in altri rimane interamente libero e si scarica sui conduttori circostanti. Tutti questi fatti ci autorizzano a ritenere che nell'acciaio, nel ferro, nel nicolo, nel cobalto, nei loro composti minerali ecc., possano svilupparsi sotto date circostanze delle correnti intorno alle loro molecole, con una direzione uniforme e determinata, capaci a produrre i medesimi effetti delle correnti ordinarie, che circolano pei conduttori. Potrebbe darsi altresì che nei corpi magnetici esistessero di già le correnti molecolari in uno stato confuso e dirette per differenti versi, e che in forza della magnetizzazione venissero solo ordinate, ridotte in piani paralleli e colla medesima direzione. Queste correnti sono temporarie e cessano al cessare della forza eccitatrice, se il corpo è formato di molecole omogenee come è il ferro dolce (§. 1512); mentre rimangono permanenti se si compone di elementi eterogenei, come l'acciaio e le calamite (§.1604). Sono queste le condizioni con cui appunto si ottengono le correnti permanenti nelle pile. Le correnti molecolari, per le quali il ferro si trova magnetizzato, sono forse la causa della diminuzione della sua conducibilità, come Fischer assicura d'aver verificato (1).

Qual causa del magnetismo, le correnti hanno in appoggio l'esperienza e spiegano facilmente non solo tutti i fenomeni, di cui si dava ragione colle antiche dottrine, come il *paradosso magnetico* (§. 1605), ma eziandio quelli che non riuscivano ben chiari, come sarebbe il riscontrare in ogni frammento d'una calamita sempre una calamita compiuta (§. 1605). La nuova teorica riceve la conferma e quasi direi l'evidenza dal confronto dei fenomeni magnetici cogli elettrici, ed è per ciò che ovunque è stata ben accetta e sostituita alle antiche ipotesi. È rimarchevole però che in Francia, dove ebbe la sua perfezione, i librai non diano tempo agli autori di rifondere il trattato del magnetismo nella ristampa delle opere di fisica destinate al pubblico insegnamento. Nell'ultima edizione per es. degli *Elementi* di Pouillet, tradotti anche in italiano, il trattato del magnetismo è ancora inviluppato nei due misteriosi *fluidi boreale ed australe*, che compongono il supposto *magnetico*, e in altre ipotesi gratuite e parole vaghe, con cui si cerca di dar la ragione fisica dei fenomeni. Al fine soltanto si fa cenno delle correnti elettriche nelle calamite, recandosi così ancor più confusione ed oscurità nella mente del giovine, che prende quel libro a guida de' suoi studi, senza d'altronde farlo capace dell'identità del magnetismo coll'elettricità.

(1) *Bulletin* ecc. di Ferussac, t. X, pag. 19.

1626. Dove più luminosa apparisce la nuova teorica si è nel confronto dei fenomeni magnetici cogli elettrici, per cui siamo costretti a conchiudere che hanno la medesima origine. Riassumiamo con brevi parole i principali fatti, mettendoli a riscontro per farne scaturire più evidentemente una così importante conseguenza:

I. Le calamite attraggono la limatura di ferro e non quella di rame (§. 1306), e le correnti elettriche si diportano egualmente (§. 1510).

II. Le calamite esercitano la loro azione sui corpi magnetici a distanza ed anche a traverso i corpi coibenti (§. 1611); e lo stesso succede dall'azione delle correnti elettriche (§. 1535).

III. Le masse di ferro sono temporariamente magnetizzate dalle calamite (§. 1577), da cui si dedusse la convenienza delle armature pei magneti naturali (§. 1598), lo stesso effetto si conseguisce colle correnti elettriche formandosi gli elettro-magneti (§. 1512).

IV. Colle calamite si rimuove l'elettrico nei conduttori e si generano le correnti indotte (§. 1567); e del pari colle correnti voltaiche si eccitano quelle per induzione (§. 1370), le quali seguono le stesse lèggi (§. 1569).

V. L'*elettromotore magnetico* è fondato sull'induzione delle calamite (§. 1570); ed altro *elettromotore* consimile si è formato coll'induzione delle correnti voltaiche (§. 1372).

VI. Le calamite trasformano le verghe d'acciaio in altrettante calamite permanenti (§. 1602), le quali egualmente si ottengono mediante le correnti elettriche (§. 1311).

VII. Si è dimostrato in qual modo le correnti indotte dal magnetismo, a somiglianza dell'induzione elettrica, svolgono nelle verghe d'acciaio il potere magnetico (§. 1603).

VIII. L'uno o l'altro polo della calamita attrae o repelle la stessa estremità dell'ago magnetico (§. 1507); e lo stesso succede col solenoide, che è un apparato costituito da correnti elettriche (§. 1539).

IX. Sul solenoide, liberamente sospeso, produce l'egual effetto la calamita od altro solenoide (§. 1537).

X. L'anello elettro-dinamico si diporta nell'egual modo in presenza della calamita e del solenoide (§. 1539)

XI. L'ago magnetico si dirige verso i poli del mondo (§. 1506), ed eguale direzione prende il solenoide (§. 1542).

XII. Il conduttore percorso dall'elettrico è posto in continuo movimento dall'azione d'una corrente fissa (§. [illegible]) ed è messo egualmente dall'azione della calamita (§. [illegible]).

XIII. Nel conflitto di due correnti elettriche, una fissa [illegible]

transitante pel mercurio, nascono dei moti giratorii in questo liquido (§ 1347), i quali si ottengono pure col sostituire alla prima la calamita (§ 1552).

XIV. L'azione d'una corrente orizzontale imprime il moto di rotazione in un'elica cilindrica percorsa dall'elettrico (§ 1551), e l'egual moto è impresso alla calamita (§ 1555).

Da questi e da altri fenomeni esposti nella prima sezione si ricava che tutti i movimenti, prodotti nel conflitto delle correnti colle correnti, si ottengono ugualmente dall'azione scambievole delle correnti colle calamite, ed inoltre il rimovimento dell'elettrico naturale ai corpi, promosso per induzione dalle correnti voltaiche, è pure prodotto dalle calamite. Bisogna dunque conchiudere che il magnetismo di queste dipenda da cause consimili, e che i vincoli fra le due classi di effetti sono così intimi, le analogie così reali, da condurre necessariamente alla conseguenza che la proprietà delle calamite dipende da correnti elettriche, che circolano attorno alle loro molecole.

1627. Dopo aver dimostrato donde trae origine il potere delle calamite, è naturale di ricercare se il magnetismo del globo terrestre sia prodotto da consimile causa. Cardano la faceva risiedere in una delle stelle dell'Orsa Maggiore, altri la collocavano ai poli dello Zodiaco, e Gilbert si limitò a qualificare la terra come una gran calamita senza curarsi d'indagare da che fosse prodotta. In tempi a noi più vicini, Pianciani riteneva che vi avesse grande influenza l'azione soli-lunare (1), e Barlocci riguardava il sole come fonte immediata del magnetismo, deducendolo dagli sperimenti di Morichini (§ 1593), non dissentiva però dall'attribuirne la cagione alle correnti termoelettriche (2). Vi ha eziandio chi ha considerato il moto di rotazione come la causa del magnetismo della terra, degli altri pianeti e del sole (3), fondandosi sul così detto magnetismo di rotazione, che ora si sa essere conseguenza dell'induzione (§ 1574). Tutte le ragioni invece c'inducono a credere ch'esso sia l'effetto di correnti elettriche che circolano alla superficie terrestre. Alcuni, fra cui lo stesso Ampère, le attribuirono ad un processo voltaico fornito dall'eterogeneità dei materiali componenti il globo, costituendolo così una gran pila comune, altri all'ineguale riscaldamento della superficie della terra formandone una pila termoelettrica.

Se il magnetismo della terra è dovuto a correnti elettriche, bisogna

(1) *Theoriæ electro dinamicæ synopsis*. Romæ 1825.

(2) *Saggio d'elettro-magnetismo ec.* Roma 1836, pag. 77.

(3) *Bibliothèque universelle*, 1825, t. XXIX, pag. 265.

rebbe prima provare l'esistenza di tali correnti. Becquerel ha cercato, mediante scandagli di platino, di condurre pel filo del galvanometro le correnti elettriche terrestri (1). Dal suo modo di sperimentare nessun lume si può ritrarre intorno all'esistenza di quelle correnti: infatti esse non abbandoneranno la via della terra, che è molto più conduttrice dei grossi fili metallici (§. 1563), per prendere quella del lungo e sottile filo del galvanometro. D'altronde le correnti, che si manifestano allo strumento, devono essere attribuite all'eterogeneità dei due strati terrestri introdotti nel circuito per mezzo degli scandagli di platino. Si ha però la prova della circolazione dell'elettrico sulla superficie terrestre dall'osservare che tutti i fenomeni, prodotti dal conflitto delle correnti colle correnti e da queste colle calamite, si riproducono esattamente dall'azione scambievole di quelle stesse correnti colla terra, come si è veduto nella prima sezione. L'esperienza quindi e l'analogia concorrono a dimostrare l'esistenza delle correnti terrestri. Ma quale delle due classi, le voltaiche e le termoelettriche, è la causa della forza magnetica della terra? Il grande assembramento di materiali eterogenei, solidi e liquidi, deve certamente dar nascimento ad una moltitudine di correnti sul nostro globo, le quali, per quanto deboli, produrrebbero un effetto sensibile se tutte avessero la medesima direzione. Ma non si ha alcuna ragione per credere che tutte prendano lo stesso verso e molto meno quello fisso dall'est all'ovest, come si richiede per la spiegazione dei fenomeni (§. 1541). Non basta dunque d'asserire, come fanno Nott (2) e gli scrittori dei *Corsi di fisica*, che il magnetismo del globo sia l'effetto di correnti, ma bisogna dimostrare che queste appartengano alle termelettriche, non potendo le voltaiche avere altra influenza che sulle perturbazioni dell'ago calamitato e sulle variazioni della forza assoluta nei differenti luoghi della terra.

1628. Le correnti termelettriche nascono non solo nei circuiti di coppie metalliche, ma eziandio con coppie di altre materie, qual è l'argilla più o meno inumidita (§. 1383). Ora la superficie del globo è disseminata di gran quantità d'argilla e di altre terre diversamente umide, le quali, riscaldate dal sole prima nelle regioni orientali e poscia nelle occidentali, trasformano la crosta terrestre in un grande circuito termelettrico, dove le correnti devono camminare secondo l'esperienza dalle parti riscaldate alle fredde, ossia dall'est all'ovest.

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XVII, pag. 211.
(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XVIII, pag. 156.

come appunto si è supposto nella spiegazione dei fenomeni (§. 1541). Il sole dunque, nel suo movimento diurno, passa successivamente pei diversi meridiani della terra, e col rinnovato riscaldamento mantiene sulla superficie delle correnti dirette dall'est all'ovest. Ne conseguita quindi, per la legge generale delle correnti (§. 1536), che l'ago calamitato deve disporsi nella linea dei poli del mondo per avere le proprie correnti, che al di sotto di esso vanno dall'est all'ovest (§. 1624), nella medesima direzione delle terrestri.

Un gran numero di osservazioni hanno altresì dimostrato che la declinazione e l'amplitudine delle oscillazioni sono maggiori di giorno che di notte, d'estate che d'inverno; e che inoltre la variazione diurna anticipa col levare del sole e cresce dal mattino sino dopo mezzodì (§. 1619), cioè progredisce colla temperatura. Tutti questi cambiamenti si verificano in una maniera così costante che confermano essere le correnti termelettriche alla superficie terrestre la causa del magnetismo del nostro pianeta. La *temperatura giornaliera* ha insomma una grande relazione col *movimento dell'ago calamitato*, come apparisce dai due fenomeni osservati a Stoccolma (1), il cui andamento è rappresentato graficamente nella fig. 508.

Le perturbazioni poi, come si disse, possono essere prodotte dalle correnti voltaiche, le quali per circostanze particolari, riunite più o meno copiose, siano dirette per un dato verso. L'ossigeno d'altra parte è un corpo magnetico a guisa del ferro (§. 1580), e costituisce quasi $^1/_4$ in peso del grande ammasso dell'aria atmosferica (§. 726): sembra quindi probabile che questa immensa quantità d'un corpo magnetico possa influire, colle sue agitazioni continue, sulle variazioni dell'ago calamitato. Faraday infatti, tenendo conto dell'azione calorifica del sole per le modificazioni che fa subire al potere magnetico dell'ossigeno, ha cercato di spiegare le variazioni dell'ago nelle diverse stagioni dell'anno ed alle differenti latitudini (2).

1629 Nobili ha imitato il magnetismo terrestre facendo circolare sulla superficie d'una sfera delle correnti elettriche e costruendo il *globo elettro-magnetico* per servire nella scuola alle dimostrazioni dei movimenti dell'ago calamitato (3). Consiste l'apparecchio nel globo di legno GG del diametro di 2 in 3 decimetri, sostenuto su

(1) *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, [illegible] pag. [illegible]

(2) *Philosophical Magazine*, [illegible] 1850 e [illegible] 1851.

(3) *Memorie ed osservazioni* ecc. t. II pag. 22. Barlow ha pure imaginato [illegible] anni più tardi un consimile apparecchio per le dimostrazioni nella scuola.

due perni del robusto semicircolo metallico CC (fig. 509). È questo appoggiato sulla colonna P ed i suoi denti imboccano col pane della vite V fissa sulla stessa colonna per rivolgere l'apparecchio dall'uno o dall'altro lato. Il globo è intagliato all'intorno della sua superficie da una solcatura spirale, che incomincia ad un polo S e termina all'altro N. Entro la scanalatura spirale è adattato un filo di rame, che ne copre la superficie e conserva i suoi giri isolati l'uno dall'altro. I capi del lungo filo, distaccandosi dai poli, si prolungano verso la base della colonna e comunicano colle due imboccature metalliche *p*, *q*, dove s'introducono i ganci dei reofori della pila. Havvi inoltre il sostegno di metallo B, nel cui asse scavato entra a sfregamento la verghetta cilindrica *abc* piegata a squadra, che all'estremità sopra un asse orizzontale, porta in equilibrio l'ago d'inclinazione *ns*. La verghetta *abc* si dispone a diverse altezze facendola scorrere nel sostegno B, e si mette così l'ago calamitato alla dovuta distanza dalla superficie del globo nelle diverse posizioni.

L'ago d'inclinazione sul suo sostegno B si colloca nel meridiano magnetico, annullando l'azione del magnetismo terrestre col contrappeso di pezzetto di foglia di stagnuola, oppure col mezzo d'una calamita disposta alla dovuta distanza. Si porta poscia il globo al di sotto dell'ago calamitato in guisa che il punto culminante del primo corrisponda al centro del secondo, e la direzione di questo riesca perpendicolare ai giri della spirale. Introdotti i reofori della pila nelle imboccature *p*, *q*, la corrente circola tosto pel filo e fa prendere all'ago magnetico un'inclinazione più o meno grande secondo la posizione che si dà al globo rispetto all'ago stesso facendo girare la vite V. In tal maniera s'imitano le diverse inclinazioni dell'ago calamitato nel passare dall'equatore verso i poli boreale ed australe. Per l'esperimento bastano poche coppie voltaiche a forza costante e piuttosto a larghe piastre.

Conclusione della fisica delle sostanze imponderabili.

1650. Nel percorrere il vastissimo spazio dove s'aggirano le sostanze imponderabili, ognuno sarà stato compreso della loro importanza per la parte attivissima che prendono nella produzione di un gran numero di svariati fenomeni. Affinchè nel lungo cammino lo studioso non venisse a smarrirsi, si riconobbe il bisogno di tenerli ancor separati in quattro gruppi, avvertendolo però sin dal principio che le loro cause potevano avere un'origine comune (§. 735), e mostrandogli all'occasione dove si somigliassero. Si è veduto infatti,

all'appoggio dell'esperienza, come il principio della luce venga ad identificarsi col calorico irradiante, e come il magnetismo siasi interamente trasfuso nell'elettricità. Si sono posti altresì nel loro vero punto di vista alcuni recenti fatti, pei quali si ravvicinano ancor più i quattro gruppi di fenomeni (§. 1597), e si nutre speranza di giungere col tempo a riconoscerli tutti dipendenti dal medesimo principio; e ciò non coll'imaginazione ed astratti ragionamenti, ma col mezzo dei fatti.

La scienza tanto più si perfeziona, quanto più scema il numero dei principii, con cui si dichiarano i fenomeni e quanto più è grande il numero dei fenomeni dichiarati collo stesso principio. Al nascere delle scienze sperimentali si presentò la necessità d'un fluido sottile ed elastico per ogni gruppo di fenomeni, ed a misura che esse progrediscono, i fluidi sottili vanno scemando di numero coll'identificarsi alle cause. L'uomo, co'suoi studi e colle sue lucubrazioni, è giunto a conoscere il modo con cui quegli agenti si manifestano ed operano; è giunto a rilevare gli effetti che ne risultano, siano essi spontanei o provocati dall'arte; è giunto infine a determinare alcuni dei casi, dove convergono verso un principio comune, avvicinandosi così alla generale teorica, dove debbano rannodarsi e concentrarsi le particolari leggi e i vari ordini di fatti. La fisica solo avrà raggiunto l'apice della perfezione, quando si perverrà a scoprire che tutti i fenomeni della luce, del calore, dell'elettricità e del magnetismo dipendono dal medesimo principio, dall'etere universale

---

PARTE TERZA

DELLA FISICA COSMOLOGICA

1631. Dopo aver mostrato nelle due precedenti parti le forze e gli agenti che scuotono la materia ed i corpi, dopo aver descritto gli apparati e gli strumenti per conseguirne gli effetti e per ottenerne la misura, dopo aver esposto le dottrine e le leggi dei fenomeni che immediatamente ne dipendono, e dopo insomma aver coordinato tutti i principii e le verità che costituiscono la fisica in un sol corpo di scienza; dobbiamo percorrere l'universo materiale per esaminare i grandi avvenimenti della natura, dapprima nel pianeta da noi abitato, poscia nell'atmosfera da cui è circondato ed infine nei globi che stanziano nel vasto spazio del firmamento. Colla scorta delle dottrine e delle cognizioni apprese avremo così occasione di comprendere come avvengono le tre classi di fenomeni *terrestri*, *atmosferici* e *celesti*. In questa rassegna saremo brevi, limitandoci alla *geografia fisica*, alla *meteorologia* ed all'*astronomia fisica*. D'altronde, avendo già a disposizione i principii della scienza, basta d'indicare quelli da cui i fenomeni dipendono per giungere così a prendere cognizione del modo con cui è architettato l'universo, non essendo la *fisica cosmologica* che un corollario della *fisica generale e particolare* (§. 35).

CAPITOLO PRIMO

DEI FENOMENI TERRESTRI.

1632. La nostra terra è uno degli innumerevoli globi sparsi nell'immenso spazio del mondo, dove vedremo qual posto occupa relativamente agli altri. Apprenderemo allora ch'essa può considerarsi come una molecola dell'intero universo sensibile, nello stesso modo che la tenuissima particella di materia rappresenta la molecola dei nostri corpi (§. 2). A noi però che l'abitiamo riesce la terra d'enorme grandezza in confronto dei corpi che sulla medesima sono accessibili. Gli antichi la credevano piana; ma si riconobbe poscia l'errore e pa-

recchie osservazioni ci mostrarono che la sua forma si accosta alla sfera ed è isolata nello spazio. L'ombra, proiettata dalla terra sul disco della luna in opposizione al sole, prende la figura d'arco tanto all'entrata quanto all'uscita da quel satellite dalla medesima, il che dimostra la rotondità e l'isolamento del corpo, da cui è prodotta.

L'acqua, nella vastità dei mari, si dispone secondo la naturale tendenza della sua gravità, e forma la superficie terrestre sgombra di ogni ostacolo, ed è là dove meglio si giudica della sua curvatura, la quale bisogna necessariamente che sia la sferica (§ 505). Il raggio terrestre è della lunghezza di più di 6 milioni di metri, per cui uno dei suoi grandi cerchi risulta di *un milione di volte meno incurvato* del cerchio di 6 metri di raggio. È per tal ragione che la curvatura della terra riesce insensibile a piccole distanze (§ 514), e non ce ne accorgiamo che sulle vaste estensioni dei mari. Infatti, l'osservatore in P non può vedere che gli oggetti superiori alla visuale PAD tangente al punto A della terra (fig. 510) e il bastimento B resta nascosto al suo sguardo. Ne vede solo la sommità dell'albero, quando nella posizione *b* la sommità stessa pervenga al punto *d* della visuale. A misura che il bastimento s'avanza da *b* verso A, maggior numero di punti s'elevano sulla tangente PD, sinchè in A può scorgerlo per intiero. Sia CA=CB il raggio della terra e BD l'altezza di un monte, di cui l'osservatore in alto mare vede la sommità nell'approssimarsi al punto A; quando l'angolo ACD non è molto grande, l'arco AB si confonde sensibilmente colla perpendicolare abbassata da A sulla retta CD, e per la proprietà del triangolo rettangolo si ha

$$CB : AB :: AB : BD,$$

da cui $BD = \frac{\overline{AB}^2}{CB}$. Essendo dunque nota la distanza AB del piede del monte dall'osservatore, se ne trova l'altezza BD; viceversa, per essere $AB = \sqrt{BD \times CB}$, si ha la distanza AB quando sia data l'altezza BD conoscendosi in ogni caso il raggio terrestre CB=CA.

Si ha altra prova della rotondità della terra se si osservi che, andando dall'occidente verso l'oriente, il sole nasce tanto più presto quanto più s'avanza, e si giunge, progredendo, al punto dove lo spuntar del giorno succede quando il cronometro segna mezzanotte. Continuando il cammino sempre verso la stessa direzione, si ritornerebbe, senza retrocedere, al luogo di partenza, come è accaduto a Magellano ed altri navigatori che, dirigendosi sempre verso occidente, ritornarono in Europa dall'oriente. Si noti altresì che, se la terra fosse

piana, i giorni dovrebbero essere eguali alle notti, ed avere la stessa durata in tutti i paesi. Dirigendosi inoltre dal nord al sud, compariscono nuove stelle, mentre quelle della parte opposta si abbassano ed al fine spariscono, il che prova la rotondità della terra

1633. La forma della terra si approssima di molto alla sferica, come è dimostrato dalla figura dell'ombra nei su annunziati ecclissi di luna. Le prominenze e le cavità, che si riscontrano alla sua superficie non costituiscono un argomento contrario, per la ragione che tali ineguaglianze svaniscono in confronto della grandezza della terra, e la maggiore di esse, il monte Devalagiri, è per la medesima come un granellino d'arena sulla superficie del globo d'un metro di diametro. La terra ha la forma prossima alla sfera, avendo provato uno schiacciamento in conseguenza del moto di rotazione (§. 375); giacchè, come mostreremo, essa si muove intorno ad una retta, che s'immagina condotta pel centro e si chiama *asse terrestre*, essendo i *poli* i punti al medesimo corrispondenti, e qualunque cerchio, che la cinge passando pei poli, un *meridiano*. Lo schiacciamento della terra ai poli è confermato dalle misure geodetiche di diversi archi del meridiano, essendosi trovato che la lunghezza del grado aumenta a misura che s'avvicina ai poli verso cui, per lo schiacciamento, la curvatura riesce minore e quindi più grande la lunghezza del grado, come apparisce dalle seguenti misure fatte da distinti scienziati.

LATIT. MEDIA dell arco	LUNGHEZZA del grado	LUOGO della misurazione
1°. 31'. 0"	56737.	Perù
12 32 20	56763.	Bengala
39. 12. 0	56888.	Pensilvania
43. 1. 0	56979.	Italia
45. 4. 17	57012.	Francia
52. 2 20	57069	Inghilterra
66 20 10	57196.	Lapponia

La tesa uguaglia metri 1,94903, e la media di quelle misure ha servito a stabilire il metro (§. 41). All'appoggio di tali misure si è calcolato il rapporto fra il semiasse polare e il semiasse equatoriale (§. 120), che con nuove considerazioni e nuovi calcoli è stato ultimamente ridotto da Plana a $^{306}/_{305}$, per cui la frazione $\frac{1}{306}$ ne esprime lo schiacciamento.

A comodo della geografia e dell'uranografia s'immaginarono sulla superficie della terra altre linee. Segandola con un piano ad ugual distanza dai poli e perpendicolarmente all'asse, ne risulta all'intorno quel cerchio che appellasi *equatore*. I cerchi minori, che s'intendono condotti parallelamente dall'una e dall'altra parte dell'equatore verso i poli, diconsi *paralleli*. La *latitudine* d'un luogo è l'arco del suo meridiano compreso fra l'equatore ed il luogo stesso; mentre la *longitudine* è l'arco dell'equatore compreso fra il meridiano del luogo ed un punto fisso; il qual arco, invece d'esprimersi in gradi, si conta talvolta in ore e frazioni, sapendosi che, nella rotazione diurna, i 360 gradi dell'equatore equivalgono a 24 ore. Per lo passato si era stabilito per punto fisso delle longitudini il meridiano dell'Isola di *Ferro*, che per ciò chiamavasi *meridiano normale*; ora però si suole prendere il meridiano di qualche specola astronomica. La longitudine poi è occidentale od orientale secondo che il luogo è posto all'ovest od all'est del meridiano normale. I due emisferi, occidentale ed orientale, nella geografia si sogliono determinare dal meridiano, che passa per l'Isola del Ferro.

La superficie orizzontale è perpendicolare alla direzione dei gravi cadenti (§. 122). Quella dei liquidi stagnanti risulta orizzontale (§. 314) rappresentando essa la superficie terrestre, la quale ha per centro il centro stesso della terra e si chiama semplicemente *orizzonte*. Si suole distinguere l'*orizzonte vero* dall'*orizzonte sensibile* od *apparente* d'un luogo: il primo è la superficie sferica che ha per raggio la distanza di questo luogo dal centro della terra, mentre il secondo è il piano, che passa per esso ed è tangente a quella superficie.

1634. Le longitudini di due luoghi si ottengono dal confronto dell'ora osservata nei medesimi allo stesso istante; per cui, determinando questi tempi, si riconosceranno le longitudini relative. In Italia si sono a tal fine posti in opera i segnali a polvere per valutare la longitudine fra due punti, osservando con esatti cronometri, previamente verificati pei due luoghi, l'istante della comparsa della luce prodotta in uno dei medesimi; giacchè si sa che questa nel dif-

fondersi alle nostre distanze impiega un tempo impercettibile. La differenza de' tempi osservati darà la differenza di longitudine dei due luoghi, sapendosi che, equivalendo 360° a 24 ore, si avrà per 1 ora 15° e per un minuto di tempo 15 minuti di grado e così dei minuti secondi. Dei luoghi posti in comunicazione coi telegrafi elettrici, come Torino e Genova, si potrebbe determinare la loro longitudine relativa, dando segnali col telegrafo stesso, mentre si sa pure che l'elettrico si propaga con una velocità non inferiore a quella della luce.

Nel seguente quadro si danno in frazioni di tempo le differenze di longitudine delle specole astronomiche d'Italia, cui si sono aggiunte quelle di Berlino, di Greenwich presso Londra, di Parigi e di Pietroborgo, che sono i principali stabilimenti di tal genere delle altre parti d'Europa. il segno + indica una longitudine occidentale e — orientale relativamente al meridiano, che passa per la specola di Milano.

Bologna .	— 0or.	8'	38"	Pisa. . .	— 0or.	4'	42"
Firenze .	— 0	8	10	Roma . .	— 0	13	7
Milano.	0	0	0	Torino . .	+ 0	5	59
Modena	— 0	6	36	Berlino . .	— 0	16	47
Napoli . .	— 0	20	18	Greenwich	+ 0	36	47
Padova.	— 0	10	43	Parigi . .	+ 0	27	25
Palermo .	— 0	16	40	Pietroborgo	— 1	24	28

La latitudine poi è eguale all'elevazione del polo del mondo, ossia all'angolo che fa la visuale condotta al polo stesso coll'orizzonte del luogo. Un tal angolo e quindi la latitudine si determina con osservazioni astronomiche facili ad essere istituite.

1635. Conosciamo della terra soltanto la crosta, essendosi nell'interno esplorata a piccola profondità. La superficie, per la maggior parte coperta dalle acque, conta la sola quarta parte costituita dai *continenti*, i quali consistono in estesi assembramenti di materie solide più o meno consistenti, e s'innalzano sul livello delle acque formando in certo modo delle isole più o meno vaste. Queste isole si riducono a tre grandi e ad un gran numero di piccole in confronto delle prime. La maggiore comprende l'Europa, l'Asia e l'Africa; la media l'America e la minore l'Australia, che forma buona porzione della quinta parte del mondo, conosciuta sotto il nome di Oceania. Delle grandi isole la minore soltanto è situata interamente nell'emisfero australe; mentre l'Europa e l'Asia, che fanno parte della maggiore, trovansi interamente nell'emisfero boreale e l'altra parte, l'Africa, s' estende in qualche porzione eziandio in quello australe.

La media poi è compresa per quasi due terzi nel boreale e per l'altro terzo nell'australe. La superficie dell'emisfero boreale è coperta in molto minor quantità dai mari di quella dell'australe, e si calcola che la quantità di continente boreale è più del triplo dell'australe. L'emisfero australe però ha un maggior numero di piccole isole, principalmente in vicinanza all'equatore; e il continente conosciuto si estende assai più verso il polo dell'emisfero boreale che verso il polo dell'australe.

L'interno della terra si compone di materie eterogenee solide e liquide, unitamente a fluidi aeriformi annidati negli interstizi lasciati dalle prime due classi di corpi. La densità media della terra non è perciò di molto superiore a quella dell'acqua. Cavendish, dal confronto dell'attrazione reciproca osservata fra due globi di piombo (§. 121) coll'attrazione terrestre o gravità, ha calcolato la densità media della terra 5,48 riferita a quella dell'acqua presa per unità. Il qual numero è più grande di quello rinvenuto da Maskelyne mettendo a confronto l'attrazione del piombino pel monte di Scozia (§. 121) con quella terrestre. Più recentemente Reich e Baily istituirono, ciascuno per sua parte, delle osservazioni somiglianti a quelle di Cavendish (1), essendo il risultamento del primo 5,44 e del secondo 5,67. I calcoli del prof. Giulio, fondati sulle osservazioni del pendolo fatte all'ospizio del monte Cenisio (2), conducono per la densità della terra al numero 4,95, che coinciderebbe con quella calcolata da Hutton, fondandosi sui dati di Cavendish. Si può ritenere dunque la densità della terra espressa in termine medio da 5.

1636. La superficie della terra è sparsa di cavità e di prominenze, alcune delle quali si elevano a parecchie migliaia di metri sul livello del mare (§. 657). La geologia si occupa in modo speciale a rintracciare come nacquero gli alti monti, le profonde valli, le facili colline, e le estese pianure; e cerca di scoprire l'origine della disposizione, dei cambiamenti e delle diverse trasformazioni subite dalla crosta terrestre. Nella fisica dobbiamo limitarci a far conoscere le forze che contribuirono alla generazione delle diverse formazioni della terra.

Si vuole che nei primordi della terra, alcune materie solide fossero sciolte nell'acqua, versata in tanta copia dal Creatore sul nostro pianeta; altre fossero tenute semplicemente allo stato liquido dal calo-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati t. ix, pag. 133
(2) Gli stessi *Annali*, t. i, pag. 74.

rico da cui erano investite. In quell'ipotesi le *acque*, nell'evaporare, abbandonarono le materie sciolte per dar luogo ad alcune *formazioni*; mentre il calorico, nell'irradiare nello spazio del firmamento, lasciò libera la coesione per far nascere altre specie di *formazioni*. Nel primo caso dunque le formazioni sarebbero state prodotte per via umida e nel secondo per via secca (§. 27) ossia, col linguaggio della geologia, si avrebbero colla via umida le *formazioni nettuniche* e per via secca le *formazioni vulcaniche*. A questi due processi bisogna indubbiamente aggiungere l'altro, in cui agiscono le correnti elettriche, per le quali è dimostrato che con un'azione lenta e continuata, si producono molti dei composti che si riscontrano in natura (§. 1470). L'origine dunque delle differenti formazioni sui continenti o sulla *terraferma* si deve attribuire ai tre processi *nettunico*, *vulcanico* e *voltaico*.

La crosta della *terra* si compone di masse cristalline, in cui non si rinviene vestigia di esseri organizzati. Queste masse sono conosciute sotto il nome di *rocce primitive*, costituiscono, per così dire, lo scheletro del globo e se ne attribuisce la formazione al processo vulcanico. Riposano sulle medesime qua e là dei *terreni stratificati*, dove si contengono molti avanzi di vegetali e di animali, e la loro formazione è dovuta al processo nettunico. I grandi depositi di carbon fossile, di lignite, di torba e di altri combustibili fossili, consistono in estesi strati di materie vegetabili, che subirono la loro trasformazione col processo nettunico. I *metalli* ed altre materie consimili, riunite in *filoni* entro le viscere di quelle formazioni, sono dovute al processo voltaico.

1637. Alcuni monti sono ancora attualmente soggetti all'azione del calorico, danno luogo a formazioni somiglianti a quelle dove il fuoco è già spento, e conservano perciò il nome distintivo di *vulcani*. Hanno d'ordinario la figura di cono troncato e superiormente una gran cavità imbutiforme detta *cratere*, da cui vomitano ad intervalli del fumo con fiamme, della cenere, delle pomici, dell'arena, delle pietre ed eziandio un miscuglio di materie allo stato di fusione, il quale denominasi *lava*. Il continente europeo conta in attività il solo Vesuvio nell'Italia meridionale presso Napoli. L'Etna, nell'isola di Sicilia, appartenente pure all'Italia, il vulcano più alto dopo l'Antisana in America, e lo Stromboli, in prossimità della Sicilia, uno dei meno elevati. Nell'Islanda havvi l'Ecla, uno dei più attivi vulcani delle isole spettanti all'Europa. Si annoverano del resto più d'un centinaio di vulcani tuttora aperti sulla terra, buon numero dei quali nell'America e nell'Asia.

Le eruzioni dei vulcani sono spesso presagite da colonne di denso fumo, che con veemenza esce dal cratere e s'innalza a grandi altezze assieme a vapori acquei e ad altre sostanze aeriformi. Allorquando il fumo è copioso, trae con sè della cenere, e forma dei densi strati nell'atmosfera che oscurano l'orizzonte, e che talvolta sono trasportati dai venti a molta distanza. L'eruzione del Vesuvio dell'anno 1794 produsse in somigliante modo una grande oscurità ed alla distanza di 24 chilometri non si poteva andare intorno in pieno giorno senza l'aiuto di fiaccole, ed a 300 chilometri le lontane Calabrie erano ancora avvolte in dense nubi. La lava è alle volte lanciata a tale altezza che trabocca dall'orlo del cratere, spesso però si fa strada a traverso le pareti e trascorre sul pendio del monte a guisa d'un metallo in fusione, formando sul terreno un letto per dove si allarga all'intorno. A misura che si raffredda, perde della sua liquidità e scorre con più lentezza. Formasi alfine una crosta più o meno consistente, per cui si ritarda di più il moto della lava liquida interna, che conserva per lungo tempo un'elevata temperatura in virtù della coibenza (§ 1131). Spallanzani infatti, nella lava eruttata da più d'un anno, introdusse un pezzo di legno, che si accese. I vulcani d'America, il Pichinca, il Turgurana e il Cotopazi, da tempo immemorabile non hanno eruttato della lava, sebbene ne esista nelle vicinanze e dimostri che ne emettessero. Le pareti di quelle voragini di fuoco sembra che si siano ingrossate e rinforzate in modo che per la pressione o la fusione il vulcano non può aprirsi un cammino attraverso di esse. Le loro eruzioni si limitano a cenere, pietre, scorie, acque e fango.

1638. I vulcani mostrano le forze della natura nella loro energia, ed offrono la prova della formazioni terrestri mediante uno dei processi annoverati. Si ritiene che nel loro interno siano continuamente in attività, ma le grandi eruzioni succedono ad intervalli di tempo più o meno lunghi, spiegando talvolta delle forze enormi. Il Vesuvio ha talvolta lanciato delle pietre alla distanza di più d'un chilometro. Il tempo di riposo dei vulcani segue d'ordinario la ragione dell'altezza dei loro crateri. Le eruzioni si succedono a brevi distanze di tempo nel basso Stromboli, sono molto meno frequenti nel Vesuvio, ed ancor meno nell'elevatissimo Etna. L'alto Picco di Teneriffa, nello spazio di 92 anni, ha avuto una sola eruzione, mentre il Vesuvio infierì 16 volte. Circostanze particolari ritardano però l'eruzione, e il Vesuvio era rimasto tranquillo da qualche secolo, quando nell'anno 79 della nostra era imperversò con tal impeto ed eruttò tante materie, che seppellirono le città di Pompeia, Ercolano e Stabia. Al momento che

seno per essere stampate queste pagine, ci giunge la notizia che l'Etna è in piena eruzione (agosto 1852), e che la lava è pervenuta nelle vicinanze di Zafferana seppellendo campi, prati, vigneti e case alla distanza di parecchi chilometri Erano 300 e più anni che il vulcano non aveva fatto veruna eruzione da quel lato, per cui, essendosi popolate e coltivate le terre, il danno riesce grandissimo.

I fisici concordano in generale nell'ammettere che la causa dei vulcani dipenda da energiche combustioni nel loro seno, per cui si sviluppano dei fluidi aeriformi. Questi sono tenuti rinchiusi e premuti dalla sovrastante lava, la quale, per la sua liquidità, chiude loro ogni adito all'uscita, in egual maniera dell'acqua che tiene rinchiusi i gas nei gasometri (§ 667). Collo sviluppo incessante di nuovi fluidi va sempre più aumentando la tensione della massa rinchiusa e cresce del pari la reazione della lava premente Infine la forza espansiva giunge al punto da superare la pressione, sollevando la lava sovrastante e lanciandola fuori dal cratere, oppure da aprirsi la via per la parte più debole della parete. Una volta che quelle masse aeriformi, molto condensate, abbiano superato l'ostacolo da cui erano premute, si espandono con gran forza e producono quindi scuotimento di terreno, esplosioni, piramidi di fumo e di fuoco, esplosioni elettriche, eruzioni di pietre, di rocce, di lava, di cenere, di pomici, di sali, d'acqua in vapore, e tutti quegli effetti sorprendenti, che accompagnano i fenomeni vulcanici. I vapori acquei hanno gran parte nella massa aeriforme, che colla sua forza elastica produce quegli effetti, acquistando essi ad un'elevatissima temperatura delle tensioni enormi (§ 615) Che i vapori entrino nel fluido esplosivo è provato dallo spandersi nelle eruzioni delle immense quantità d'acqua allo stato aeriforme, e dall'essere i vulcani attivi sempre in vicinanze del mare Trattasi solo di sapere come sia alimentata la combustione e quindi donde abbia origine il calorico per cui si producono i vapori, si sviluppano i gas e si fondono le materie esistenti nel vulcano. L'aria non vi deve avere gran parte, non potendo essa instaurarsi nello spazio dove stanno rinchiusi quei fluidi condensati sotto tensioni così enormi Nello stato attuale della scienza, il calorico può essere prodotto in virtù di correnti elettriche sviluppate a temperature sempre più elevate dalle materie eterogenee che costituiscono il vulcano (§ 1430); in virtù dell'azione chimica delle materie medesime mescolate con l'acqua e dei componenti metallici delle terre, i quali assorbono avidamente l'ossigeno con grande sviluppo di calorico (§§ 1466 e 1180) ed esistono verosimilmente nel seno della terra allo stato puro. F.

probabile che ambedue queste sorgenti di calorico abbiano influenza nei fenomeni dei vulcani (1).

Si disse che la lava tiene chiuse nella voragine del vulcano le masse aeriformi a misura che si sviluppano, il che è confermato dalle osservazioni di Spallanzani. Questo celebre naturalista italiano nel 1788 ha potuto accostarsi all'Etna, mentre trovavasi in perfetto riposo. Scoprì verso la base un'apertura di circa 10 metri, per la quale sollevavasi una nube di fumo: quando il vento spingeva lateralmente quella nube, vide per l'apertura una massa liquida rovente, la quale mostrava d'essere in lieve ebollizione e di avere dei moti ascendenti e discendenti. Alla cima poi dello Stromboli osservò pure la lava in fusione somigliante al bronzo fuso, che si alzava e si abbassava, e coprivasi alla superficie di bolle aeriformi, le quali scoppiavano con rumore simile al tuono. I vulcani devono avere verso il fondo nell'interno una grande circonferenza e contenere molta materia, poichè in una sola eruzione sono capaci di dar luogo a formazioni di ammassi equivalenti a nuovi monti (2). È mirabile il *Monte Nuovo* sorto nell'anno 1538, vicino a Pozzuoli poco lungi da Napoli, in virtù di un'eruzione prodotta dai fuochi sotterranei, che esistono in molte parti di quei paesi. Il monte s'eleva a circa 650 metri sul suolo, ha il perimetro di 4 chilometri e la sua formazione fu compiuta in quarantott'ore.

1639. Nella terra si rinvengono dei fuochi sotterranei, pei quali l'acqua, contenuta in bacini e mantenuta in continua ebollizione, è lanciata a distanza come le materie solide dai comuni vulcani. L'isola d'Islanda è situata al 63° di latitudine boreale dove regna un inverno perpetuo, il cui suolo ci fa partecipi dei fuochi sotterranei, causa anche dei vulcani. Per l'azione di questi fuochi, piramidi d'acqua bollente escono dalle viscere della terra e giungono all'altezza di più di 30 metri. Anderson, viaggiatore inglese, visitò l'isola e descrisse

(1) ***Annales de chimie et de physique***, 2e serie, t. xxii, pag. 420, del 1823.

(2) I vulcani furono argomento d'osservazioni e di studi di parecchi naturalisti italiani e stranieri. Riguardo ai primi si consultino le opere di Fortis, di Spallanzani, di Breislak, di Monticelli, di Covelli, di Gemmellaro, di Maravigna ed altri. Intorno ad alcune questioni sui vulcani si vegga l'opuscolo di De-Luca nei nostri *Annali*, t. xxv, pag. 310. Le ceneri eruttate dal Vesuvio nel 1822 furono analizzate da Lancellotti nella *Bibliothèque universelle*, t. xxii, pag. 158 e da Lavini nelle *Memorie della R. Accademia* di Torino, t. xxxiii, pag. 183 del 1829. In quanto a' fenomeni più recenti di quel vulcano si veggano i nostri *Annali*, seconda serie, t. i, pag. 275; ii, 169; iii, 178, ed il *Bulletin di Ferrusac*, t. xii, 348.

minutamente quei sorprendenti fenomeni della natura. Le sorgenti di questa specie le più rimarchevoli dell'Islanda sono situate nella parte sud-ovest dell'isola alla distanza di circa 54 chilometri dal vero vulcano Ecla. Se ne trovano più di cento di quelle sorgenti nel perimetro di alcuni chilometri e si chiamano *geiser*, che nell'antica lingua scandinava significa fontana. Le più rimarchevoli però sono il *gran Geiser* ed il *nuovo Geiser*. Avvicinandosi al *gran Geiser* quando è tranquillo, si osserva una specie di diga circolare dal cui centro si eleva una specie di fumo. Salendo su questa diga, si scorge un bacino pieno per metà d'acqua limpidissima ed in ebollizione continua. Il bacino ha il cratere in forma d'imbuto del diametro di 6 in 7 metri, e la profondità di poco più di un metro. Il suo interno presenta la superficie biancastra, consistente in una concrezione pietrosa divenuta liscia e lucida per l'azione continua dell'acqua bollente. La diga, che contorna il bacino, si compone di materie calcari depositate dall'acqua, che trabocca dal bacino e scorre sul suolo circostante. Le eruzioni succedono ad intervalli irregolari, accompagnate da rumori spaventevoli somiglianti agli scoppi del fulmine. L'acqua incomincia a bollire con forza sempre più crescente, e poco dopo è spinta nell'aria in parecchi getti successivi, che s'innalzano e cadono irregolarmente; sicchè una magnifica colonna d'acqua bollente, circondata da denso fumo, si slancia a grande altezza. Le eruzioni del *gran Geiser* durano poco più di 5 minuti, mentre quelle del *nuovo Geiser*, quantunque meno imponenti, continuano per ben due ore. Gli abitanti dell'isola si servono dell'acqua calda di quelle fontane per cuocere i legumi, le uova, la carne ed altri alimenti, per lavarvi le biancherie e per altri simili bisogni. Nelle acque delle sorgenti meno calde prendono i bagni.

Le *solfatare* dell'Italia meridionale e di altre parti del globo presentano nuove prove dell'esistenza di fuochi in continua azione nelle viscere della terra. I soffioni della maremma di Toscana, che gettano l'acido borico unitamente a vapor acqueo, sono fenomeni dipendenti da cause consimili.

Dal fondo dei mari i fuochi sotterranei danno nascimento ad eruzioni di materie solide, che talvolta non giungono ad elevarsi sino al livello delle acque, e il fenomeno si manifesta soltanto colle apparenze di fumo e fiamme. Alle volte si forma una vera isola, che sporge più o meno sulla superficie del mare, si abbassa poscia, scompare per ricomparire in altro tempo. In vicinanza di S. Michele, una delle isole Azore, è sorta dal mare altra piccola isola, che scomparve e ricom-

parve per quattro volte ad intervalli di tempo più o meno lunghi (1). Un fenomeno consimile è accaduto presso di noi fra la Sicilia e l'isola Pantelleria. Nel giorno 11 luglio 1831 si sentirono delle lievi scosse di terremoto sulla costa da Sciacca a Marsala, alcuni giorni dopo l'atmosfera si venne fosca, manifestando un sensibile odore di solfo, e nel giorno 19 si scoprì a 38 chilometri al sud di Sciacca il cratere di un vulcano sorto in mezzo al mare, che continuò le sue eruzioni sino al 16 agosto. Cessata l'eruzione, si è potuto accostarvisi, prenderne le misure e disegnarlo (fig. 311), essendosi trovato il perimetro della lunghezza di metri 988 e la massima sua altezza di quasi 46 metri (2).

1640. I territorii, sparsi di fuochi sotterranei o di vulcani in attività o già spenti, sono soggetti a scosse e ad oscillazioni più o meno violente, le quali danno luogo al fenomeno conosciuto sotto il nome di *terremoto*. Gli scuotimenti e le concussioni avvengono ad intervalli di tempo indeterminati ed in differenti diramazioni, avendosi il *terremoto ondulatorio*, se quei movimenti riescono paralleli al suolo, *terremoto sussultorio* se sono diretti perpendicolarmente al medesimo. Questo grande fenomeno è talvolta preceduto da sconvolgimenti nell'atmosfera, da variazioni repentine nel barometro, dal disseccamento di fonti e dall'agitazione del mare; la temperatura varia o rimane costante secondo le circostanze, senza che si verifichi sempre lo stato stazionario del termometro per parecchie ore, come potrebbe dedursi da poche osservazioni fatte da Merian agli Stati Uniti d'America (3), gli animali stessi lo presagiscono colle loro inquietudini.

In causa di queste grandi scosse del terreno, gli edifizi screpolano e talvolta crollano in tutto od in parte, le borgate e le città sono più o meno danneggiate ed anche interamente distrutte, si staccano frane dai monti che cagionano devastazioni e ruine nelle sottoposte valli, e i fiumi cambiano il loro corso. S'aprono nella terra delle fenditure, per dove escono delle esalazioni di vapori e di fumo più o meno denso, che spande un odore solfureo e dimostra l'esistenza del fuoco sotterraneo da cui ha origine il fenomeno. Talvolta scompaiono interi laghi dalla superficie terrestre e se ne formano dei nuovi. Grandi voragini s'aprono eziandio, per le quali s'inghiottiscono interi villaggi, e il molo del porto di Lisbona fu ingoiato e scomparve pel terremoto,

(1) *Giornale di fisica, chimica ecc.* di L. Brugnatelli, t. IV, p. 13, del 1821.
(2) *Relazione dei fenomeni del nuovo vulcano sorto dal mare ecc.*, di Gemmellaro. Catania 1831.
(3) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. XXV, pag. 75.

che nel trascorso secolo devastò quella città. Il terribile fenomeno è spesso accompagnato da un cupo rumore, che sembra provenire dalle viscere della terra (1). Da tutti questi effetti conseguita che il terremoto è prodotto dagli stessi agenti, da cui hanno origine i vulcani, colla sola differenza che le masse aeriformi, compresse e grandemente condensate, risiedono a maggior profondità nell'interno della terra, e non trovando facile adito per espandersi nell'atmosfera, esercitano perciò la loro forza enorme sulle pareti da cui sono rinchiuse dando luogo a scosse ed a contraccolpi, che per contiguità si comunicano ad un gran tratto di paese producendo devastazioni e rovine. I paesi, che non corrispondono al luogo dove risiede quella possente forza della natura, ne provano per comunicazione lievi effetti senza gravi danni. Di tale specie dev'essere stato il terremoto avvenuto qualche anno fa in questa parte d'Italia (2).

Importa in molti casi di conoscere la direzione del terremoto, essendosi a tal fine imaginato il *sismografo* o *sismometro*, da *sismos* scossa, di cui i migliori sembrano quelli di Cacciatore e di Pistolesi (3). Lo strumento del primo ha servito di già per parecchi anni alle osservazioni della R. specola di Palermo, dove non è raro quel fenomeno. Esso consiste in un recipiente di legno del diametro di 25 centimetri, munito al suo orlo di 8 fori diametralmente opposti in congiunzione con canaletti di ferro (fig. 312). Ciascuno di questi mette capo rispettivamente in altrettanti bicchieri. Il vaso di legno coi bicchieri è ben assicurato ad un basamento, che riposa sopra un robusto sostegno appoggiato al suolo. Si riempie il vaso di mercurio sino al margine dei fori, che sono situati nel medesimo piano orizzontale. Le ondulazioni del suolo si comunicano al mercurio, il quale per ciò trabocca dai due fori opposti e discende pel rispettivo canaletto nei bicchieri corrispondenti, la cui retta di congiunzione indica la direzione del terremoto. Se si trovasse in ogni bicchiere del mercurio sarebbe indizio di terremoto sussultorio. Il sismografo di Pistolesi è ancor più semplice, e consiste in un ago calamitato sospeso orizzontalmente ad un lungo e sottile filo di seta nel centro di un cerchio di ferro del diametro di poco maggiore della lunghezza del-

(1) Celebre per gli accidenti e per gli effetti, è il terremoto, che devastò orribilmente le Calabrie nell'Italia meridionale al febbraio del 1783 e che descrisse eloquentemente il nostro grande Botta nella sua *Storia d'Italia* lib. 49.

(2) *Annali di Fisica* ecc. più volte citati, seconda serie, t. II, pag. 162. Terremoti consimili sembrano quelli, di cui si fa cenno nella prima serie, t. XVI, p. 55.

(3) Annali suddetti, t. III, pag. 302; t. IV, pag. 112 e t. XXV, pag. 306.

l'ago. Collocato l'apparecchio sul suolo od attaccato al muro dell'osservatorio, l'ago è rimosso dalla verticale nella direzione della scossa terrestre, si accosta al cerchio e vi resta aderente per attrazione, indicando così non solo la direzione ma il lato da cui ha avuto incominciamento il terremoto.

1641. Dalle azioni fisiche e chimiche, che danno nascimento alle eruzioni vulcaniche (§ 1638), sono talvolta elaborati lentamente nel seno della terra dei fluidi aeriformi, che trovano facile adito per fenditure e per meati e si spandono nell'atmosfera, presentando il fenomeno d'esalazioni continue e tranquille di gas dal suolo (1). Di tale specie è l'esalazione di Macaluba in Sicilia, da cui si sviluppa un miscuglio di gas e vapori. Se il luogo, donde esce il fluido, è circondato da pareti, questo si dissipa lentamente e soltanto in parte nell'atmosfera (§. 622), ed ancor più lentamente se è di maggior peso specifico. Siccome poi, a misura che si diffonde, ne subentra del nuovo, così il recinto si riempisce di quel gas, il quale quando sia inetto alla respirazione rende il luogo stesso fatale alla vita degli animali (§ 1200). La *Grotta del Cane* nei dintorni di Napoli è una sorgente d'acido carbonico, la cui parete all'intorno ha l'altezza minore d'un metro: il cane, che s'introduce per l'esperimento, obbligato a respirare quel gas, è preso ben presto da tremori convulsivi, diventa asfittico e muore se si lascia per poco tempo ancora in quell'aria mefitica. La valletta del lago d'Agnano rinchiude altresì le *fumaiole di S. Germano* e la *Grotta dell'ammoniaca* poco lungi da quella del Cane, dove le esalazioni solforee ed ammoniacali riescono ancor più micidiali dell'acido carbonico per gli animali che le respirano. Nell'isola di Giava vi ha una valle della periferia di circa 800 metri, che come le precedenti grotte presenta in tutto lo spazio rinchiuso l'esalazion di gas mefitici. Nel linguaggio del paese si chiama *Guepo Upas* ossia la *valle pestilenziale* od *avvelenata* ed è distante da Batavia circa 3 chilometri. Nel giorno 4 luglio 1831 il viaggiatore inglese Loudon visitò quel luogo inospitale assieme ad alcuni amici, salendo sopra un'altura contigua. La valle ha la forma ovale e la profondità di 9 in 10 metri; il suolo è coperto di pietre e privo di qualsiasi vegetazione. Si scorgono qua e là alcuni scheletri umani, i quali probabilmente sono le reliquie di alcuni sollevati posti in fuga dalle truppe nelle ultime guerre e diretti in quei luoghi nascosti ignorando la sorte che li at-

(1) Si vegga per le esalazioni dal suolo nei dintorni di Napoli di cui qui si parla, lo scritto di De Miranda e Pace, nei summentovati Annali, t. xxi, pag. 115.

tendeva. Osservarono essi altresì scheletri di tigri, di cervi, d'orsi ed altri animali sparsi in gran numero su quel suolo. Loudon, per esperimentare l'aria mefitica di quel luogo, v'introdusse un cane legato ad una lunga canna di bambù, il quale a capo di 14″ cadde al suolo asfittico e poscia morì, un altro cane seguì la sorte del primo (1).

Dalle fenditure della superficie terrestre si sviluppano eziandio dei gas infiammabili, il cui principal componente è l'idrogeno. Queste esalazioni formano le *fontane ardenti* o *vulcani idropirici*, che si riscontrano in Italia ed in altre parti del globo e che risultano dalla decomposizione di combustibili sepolti nel seno della terra. Uno di questi vulcani esiste a Barigazza nel Modenese, su cui ha scritto il celebre Spallanzani; altro poco lungi da Pietramala, lungo la strada da Bologna a Firenze, sul quale ha scritto un altro celebre italiano, Volta. Io vidi di notte quest'ultimo nell'ottobre del 1822, e poscia nello stesso mese del 1839 e del 1845: il fluido esce da screpolature che si osservano nell'arso terreno, e spento si riaccende con un zolfanello come il getto del beccuccio d'una lanterna a gas. Le fiamme si alzano a maggiore altezza quando il mare è agitato, il che prova essere la sede della distillazione del gas in comunicazione sotterranea col mare. I pozzi trivellati aperti a Venezia esalarono del gas, che si accendeva come quello di Pietramala. Lo stesso è di altri fori fatti nella terra per esplorarne dagli strati sottoposti la natura (2).

1642. Degne d'osservazione per la scienza sono le acque, che scaturiscono dalla terra, scorrono in rigagnoli sulla china dei monti, si riuniscono in alvei più o meno grandi per discendere sopra piani inclinati nell'immensa cavità dei mari. A malgrado che alcune migliaia di fiumi portino continuamente nuove acque ai mari, questi non s'innalzano mai al di sopra delle loro spiagge ad allagare i continenti, nè i fiumi si disseccano cogli anni. È d'uopo dunque conchiudere che l'acqua dei mari ritorni in qualche modo ad alimentare le sorgenti dei fiumi, e che si diano dei mezzi pei quali la natura abbia aperto una comunicazione non interrotta fra i mari e le sorgenti. Alcune ipotesi gratuite, non avvalorate da veruna osservazione, avevano emesse gli antichi filosofi intorno all'origine delle acque, che incessantemente dai luoghi più elevati della terra si portano al mare.

L'evaporazione è la causa per cui si mettono in circolazione le acque dei mari spargendole in mille guise sui continenti. Dalla super-

(1) *Bibliothèque universelle*, fascicolo d'aprile 1823.

(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xxiv, pag. 61.

ficie delle acque, che coprono una gran parte della terra, si sollevano incessantemente dei vapori nell'atmosfera (§ 623), i quali condensati per una diminuzione di temperatura (§ 1160) danno origine alle pioggie, alle nevi e ad altre meteore umide, come avremo occasione di mostrare più avanti. I grandi ammassi di vapori si ricovrano d'ordinario sopra i monti, da cui sembrano attratti, e colà più frequente che al piano si liquefanno in pioggia o si riconsolidano in neve. Nel primo caso, se il terreno è permeabile, le acque filtrano nelle viscere della terra pel loro peso sinchè, incontrando degli strati impermeabili, scolano lungo il loro pendio e scaturiscono lateralmente nelle valli discendendo verso la pianura, quelle poi che non trovano ostacolo, continuano il loro corso e giungono nel seno della terra, ove gli uomini ne approfittano per mezzo delle aperture dei pozzi, che scavano vicino alle loro abitazioni. Se i monti, pel loro rapido declivio o per la materia di cui sono formati, non lasciano adito alle acque, allora queste lungo la superficie discendono in rigagnoli nelle sottoposte valli. Le nevi poi in parte si liquefanno ed in parte pel freddo dominante sulle alte montagne s'ammassano in grandi cumuli, che si chiamano *ghiacciaie*. Da queste, nelle calde stagioni, scolano continuamente delle acque prodotte dalla loro liquefazione V' hanno sulle montagne delle cavità o bacini, dove si radunano molte acque, che formano degli *stagni*, da cui lentamente filtrano nel terreno e scaturiscono nelle valli e nelle pianure sottoposte. Uno di questi stagni si riscontra in Corsica sul monte Rotondo alto 2824 metri sul livello del mare. Le acque, che trasudano dal piede dei monti e dal suolo, si appellano sorgenti e danno nascimento alle *paludi*, ai *laghi*, ai *ruscelli*, dall'unione delle cui acque si compongono i *fiumi*, i quali chiamansi *primari* o *secondari* secondo che mettono foce immediatamente nel mare o vanno ad ingrossare altri fiumi. Le acque appena cadute, non trovano talvolta disposto il suolo per internarsi nella terra, per cui precipitano dal pendio dei monti e scorrono in piccole valli formando i *torrenti*, che producono le piene dei fiumi.

Che avvenga così è provato: I che non si veggono nè fonti, nè ruscelli alla sommità dei monti, quando non ve ne siano accanto altri più elevati, da cui trarre la loro origine; II che non vi ha fiume, il quale sgorghi già ricco d'acque dal luogo ove nasce, essendo i fiumi in origine piccoli fonti o ruscelli, che scaturiscono dai menti del suolo od escono dalle screpolature dei vicini monti e scorrono sparsi sopra un terreno d'arena o di ghiaia; in seguito, venendo rinforzati nel loro corso da altri rivi ed altre sorgenti che stillano dalle sempre umide

coste e colline, s'ingrossano sempre più, diventano copiosi d'acque, le quali con violenza superano gli ostacoli delle irregolarità del suolo in guisa che, mormorando talvolta fra sterminati macigni, giungono al piano ove distendono maestosamente il loro letto; III che nei luoghi, ove di rado piove e non vi sono monti, non si trovano fiumi, ma al più piccoli ruscelli, come è in alcuni vasti deserti dell'Africa, dell'Asia e di altre parti del globo; IV che abbondano i fiumi là dove cadono copiose pioggie e nevi sopra i monti e i colli di cui è sparso il suolo, e dove scorrono lunghi tratti di paese, come sono il Volga ed il Danubio in Europa; i fiumi delle Amazzoni, del Mississipì, dell'Orenoco ecc. nell'America; dell'Indo, del Gange ecc. nell'Asia; e del Nilo ecc. nell'Africa; V che le piene dei fiumi accadono d'estate quando si sciolgono le nevi e quando le pioggie, come in autunno, sono più frequenti ed abbondanti, VI che i fiumi, formati da ruscelli e da torrenti, non asciugano mai interamente anche nelle siccità più ostinate, per la ragione che, traendo essi origine da sorgenti molto diverse e fra loro distanti ed essendo le siccità generali rarissime, vengono sempre alimentati dalle acque di qualcheduna delle sorgenti medesime; d'altronde le immense ghiacciaie, che coprono i più alti monti, servono d'alimento perenne ai fiumi durante le lunghe siccità estive. Si noti altresì che, mentre le campagne alla pianura sono inaridite per mancanza di pioggie, le montagne vengono spesso inondate da copiose acque cadenti dal cielo.

Noi Italiani abbiamo in vicinanza gli Apennini e le Alpi per esaminare l'origine dei fiumi. Chi volesse farlo senza grave incomodo, potrebbe recarsi in Valtellina dove, costeggiando l'Adda per ampio e spazioso cammino sino a Bormio, salire per la grandiosa strada al giogo di Stelvio, il punto più elevato carrozzabile d'Europa (§. 637), e vedere colà i rivi e le vene d'acqua, che scaturiscono e stillano dal terreno in causa delle ghiacciaie e delle acque radunate sul vicino monte Ortlerspitz. Quei ruscelli, discendendo dal giogo per una delle tre valli contigue, danno origine ai tre fiumi Adda, Adige e Reno, che s'ingrossano nel loro corso, ricevendone altri dalle valli contigue, e giungono ricchi d'acque al piano.

Le acque dei fiumi incontrano talvolta dei vani, dove scompaiono, discendono per tratti sotto terra e sorgono in luoghi più bassi per continuare il loro corso. Il fenomeno si osserva nella Carniola e ad Adelsberg. Altri fiumi si perdono nell'arena senza più comparire come è il Reno in Olanda. Infine le acque nel discendere, trovando differenze di livello, precipitano da altezze e formano le *cascate*. A Tivoli,

nei dintorni di Roma, si osserva una cascata dell'altezza di circa 10 metri, e l'altra di Velino presso Terni, celebre è quella di Stanbach non lungi da Berna che ha ben 260 metri d'altezza, la cascata del Reno presso Sciaffusa è di poco più di 9 metri. La più imponente cascata per l'enorme quantità delle acque è quella di Niagara in America (§. 247).

1643 Non sarebbe forse troppo supporre che la sola evaporazione sia capace di fornire l'enorme quantità d'acqua necessaria ad alimentare tante sorgenti e tanti fiumi, unitamente alla non piccola porzione che si disperde nel terreno ed all'altra necessaria alla vegetazione ed alla vita degli animali? La maraviglia cessa quando si sappia che i risultati delle osservazioni, istituite in diversi luoghi, c'istruiscono che l'acqua, caduta in un anno sotto qualunque forma, eccede di molto la quantità necessaria per alimentare il corso dei fiumi, e per mantenere a livello i laghi nei territorii dei luoghi medesimi, da rimanerne $^5/_7$ pel bisogno della vegetazione e per gli altri usi; per cui è d'uopo supporre che vi sia impiegata con una profusione eccessiva. A tal fine, non solo si è misurata la quantità d'acqua, che cade in un anno in diversi luoghi, ma si è osservata quella che passa in vapore, la quale, preso un risultato medio per le stagioni e pei climi, risulterebbe di 7 millimetri al giorno e per conseguenza di $2^m,56$ all'anno. Riduciamo pure al quarto l'evaporazione in tal modo valutata, e si avrà ancora nell'atmosfera tanta copia d'acqua, che si trasforma in pioggia ed in neve e si spande in parte sul mare ed in parte sui continenti, da somministrarne ad entrambi $0^m,64$ in un anno. La quantità d'acqua, che giornalmente passa in vapore, è calcolata all'appoggio di quei dati di 10590 chilometri cubi. La velocità e quindi la portata dei fiumi si valuta coi principii altrove esposti (§. 360).

1644. Le sorgenti presentano spesso delle variazioni, di cui è facile riconoscere la cagione. Quantunque alcune siano continue, si osserva che varia la quantità d'acqua, che ne sgorga in diverse stagioni dell'anno. Quelle, che sono alimentate dalle pioggie e dalle nebbie, sono scarse d'acque nell'estate e riacquistano il loro primitivo stato nella stagione umida e piovosa; mentre le altre, che derivano dalle ghiacciaie dei monti, ricevono il lor maggior incremento nell'estate, tempo dello scioglimento delle nevi. Nel cantone dei Grigioni in Isvizzera vi sono due sorgenti a poca distanza fra loro, che somministrano acqua unicamente dal principio d'aprile sino all'autunno; altra nel cantone di Berna dalla metà di maggio sino all'agosto, e quest'ultima dalle 4

pomeridiane sino alle 8 del mattino. Della loro intermittenza è chiara la ragione, essendo quelle sorgenti alimentate dalle nevi liquefatte, e nell'ultima l'acqua di liquefazione è preparata soltanto dal calore del giorno per isgorgare durante la notte.

Si danno delle sorgenti alla cui intermittenza prende parte l'elasticità dell'aria secondo i principii altrove esposti (§. 685), oppure ha luogo nello stesso modo del vaso di tantalo fondato sulla dottrina del sifone (§. 576). A tale categoria, oltre la Pliniana in vicinanza del lago di Como di cui si è fatto cenno (§. 685), appartiene una corrente nei Pirenei, che sgorga per 36′ $^1/_2$ e quindi cessa per altrettanto tempo, essendo soltanto resa continua da una pioggia non interrotta. Altra esiste presso Nisme, che sgorga per 7 e rimane in quiete per 5 ore. Alcune sorgenti sviluppano dell'aria e diventano torbide in certi giorni, principalmente se minaccia di piovere: il fenomeno dipende dall'essere la pioggia quasi sempre preceduta dalla diminuzione della pressione atmosferica, per cui l'espansibilità dell'aria mista all'acqua sorgiva prevale sulla pressione atmosferica e dà luogo al fenomeno (§. 598). Degne d'osservazione sono le inondazioni del Nilo, che avvengono sempre a tempi determinati. Dal dicembre al marzo somministra la minor copia d'acqua; mentre da quest'ultimo mese al giugno cresce costantemente, e poscia di nuovo diminuisce. La causa di questo fenomeno si è riconosciuta nelle pioggie, che in quei mesi cadono sui Monti della Luna e nelle alture dell'Abissinia dove trovansi le sorgenti del Nilo.

1645. Le acque, nello scorrere per le viscere della terra, incontrano talvolta materie solubili, di cui s'impossessano, scaturendo dal suolo e dando nascimento a sorgenti d'*acque minerali*, dove si contengono dell'acido carbonico, della calce, degli alcali ed altri ossidi metallici e principalmente quello di ferro, come pure sali, solfo ecc. Alcune di esse sono potabili e non recano danno alla salute, anzi parecchie, per le materie contenute, si usano nella terapeutica. Tali sono le sorgenti di Recoaro nel territorio di Padova, quelle di S. Caterina nella Valtellina, di Sedlitz, di Toplitz, di Selz e di molti altri luoghi d'Italia e d'Europa.

Le *stalattiti* sono formate dalle sorgenti di questa specie, le cui acque tengono sciolte delle materie calcaree e simili. A misura che l'acqua evapora, deposita le materie sciolte, le quali si riconsolidano in virtù della coesione dando luogo a cristallizzazioni diverse. Le acque di Tivoli, nei dintorni di Roma, scaturiscono dai vicini colli e, scorrendo sopra il terreno, depositano gran quantità di materia

calcare, che si agglomera e s'indurisce a segno da risultarne la pietra detta *travertino*, suscettibile ad essere lavorata ed a servire nelle costruzioni.

1646. S'incontrano delle sorgenti, le cui acque hanno una temperatura più elevata dell'atmosfera da cui sono circondate, e del suolo da cui scaturiscono. Quest'aumento di calore dipende dai vulcani (§. 1638), cui passano vicino quelle acque; oppure dai fuochi che trovansi nel seno della terra (§. 1639), ed anche da semplici azioni chimiche (§. 1184). Dalle sorgenti di questa specie si hanno le *acque termali*, che contengono del solfo, dei sali ed altre materie, per le quali servono di bagni salutari all'uomo: tali sono quelle di S. Martino nei dintorni di Bormio le cui acque sono molto abbondanti di solfo; di Trescorre nel territorio di Bergamo; di S. Giuliano in vicinanza di Lucca; d'Acqui non molto lungi d'Alessandria; di Aix in Savoia ed altre.

La temperatura varia secondo la qualità degli strati terrestri per dove filtra l'acqua: alcune acque sono tiepide ed hanno un calore di poco superiore all'umano, ossia a 37° centesimali (§. 1202); altre invece sono dotate di maggior calore come quella d'Abano in vicinanza di Padova di 99° centesimali, l'altra di Oclve in Islanda di 100°, di Carlsbad del calore di 69°, di Bath di 56°, la sorgente più calda di S. Giuliano su nominato di 55°. Qualche sorgente ha variato talvolta la sua temperatura, in causa principalmente di terremoti o di eruzioni vulcaniche: circa 40 anni sono una delle sorgenti di Carlsbad diminuì notabilmente di temperatura a motivo d'un terremoto, ma riprese col tempo il primitivo calore. La sorgente di Bagnères nei Pirenei si accrebbe di alcuni gradi in causa d'un fenomeno consimile, che si estendeva sino alla città di Lisbona.

Alcune sorgenti hanno una temperatura minore di quella dell'atmosfera: sul monte Pila in Francia ve ne ha una la cui acqua, durante tutto l'anno, è così fredda, che non si può bere, ed una consimile trovasi sul monte Ginevra nell'Alta Italia. Quella di Medevi nella Svezia conserva costante la temperatura di 8° centesimali. Del resto s'intende che una sorgente, che abbia la temperatura costante eguale alla media atmosferica, sembra più fredda nell'estate e più calda nell'inverno (§. 1056).

1647. Le acque delle sorgenti, dei ruscelli, dei torrenti e dei fiumi vanno a metter foce in quelle grandi cavità della terra, che formano i *mari*, i quali comunicano quasi tutti fra loro mediante canali più o meno grandi chiamati *stretti*, e quindi ne costituiscono nel loro

complesso uno solo col nome d'*Oceano*, che prende differenti appellativi dai luoghi limitrofi. Nell'emisfero meridionale esso appellasi *grand'oceano australe*, che si estende sino al polo, nelle cui regioni le acque sono convertite in ghiaccio perpetuo e compongono il *mare glaciale antartico*. Il *grande Oceano boreale* nel nostro emisfero è minore dell'australe, ed alle regioni polari ha pure una massa d'acque riconsolidate detta *mare glaciale artico*. Fra l'America da una parte e l'Australia coll'Asia dall'altra si ha il *grande Oceano equinoziale*, di cui la porzione verso l'equatore si chiama *Mar Pacifico*; mentre, fra l'America e l'Africa coll'Europa, le acque si distinguono col nome di *Oceano atlantico*. L'Oceano chiamasi mare dai parecchi luoghi vicini per comodo della geografia: così il *mare delle Indie* all'equatore dirimpetto all'Asia fra l'Africa e l'Australia, il *mare della Cina* fra l'Asia e l'isola Borneo e le Filippine, ecc. L'Oceano, entrando in cavità poste fra terre, forma rade, seni, golfi e mari particolari. I mari *Nero* ed *Adriatico* si uniscono col *Mediterraneo*, il quale comunica coll'Oceano atlantico per lo stretto di Gibilterra. Il *Mare Rosso* è un gran golfo, che si unisce all'Oceano australe ed è separato dal Mediterraneo per l'istmo di Suez, che unisce l'Africa coll'Asia. Il *mare Caspio* è isolato da tutti gli altri mari, per cui è classificato fra i laghi, che avrebbe però l'estensione di 2700 a 3000 miriametri quadrati.

In virtù delle leggi idrostatiche (§ 513) tutti i mari, in comunicazione fra loro, devono mettersi allo stesso livello, ed è perciò che a tal punto si riferiscono le altitudini e le profondità, che s'incontrano sulla superficie terrestre. Circostanze particolari però possono produrre qualche differenza nell'altezza delle acque di due mari. Durante la spedizione d'Egitto al principio del presente secolo, una commissione d'ingegneri ha determinato le altezze relative del golfo del Mar Rosso e del Mediterraneo a traverso l'istmo di Suez, i quali comunicano fra loro per lo stretto di Gibilterra e l'Oceano con un lunghissimo tratto di parecchie migliaia di chilometri. Nel tempo delle basse maree, il Mediterraneo è stato trovato di metri 8,12 più depresso del livello del Mar Rosso, e nelle alte maree la differenza s'elevava a metr. 9,9. Delambre invece ha trovato che le acque del Mediterraneo, le quali bagnano le coste di Barcellona, e quelle dell'Oceano nel canale della Manica, che toccano il piede di Dunkerque, hanno l'altezza presso che uguale. Bisogna dunque che sia incorso qualche errore nelle misure prese fra il Mar Rosso e il Mediterraneo, o che alcune delle circostanze, che quanto prima esamineremo, producano una tale differenza di livello. Il Mar Caspio, isolato dall'Oceano, si ri-

teneva, all'appoggio di livellazioni barometriche (§. 649), molto più depresso degli altri mari. La differenza era così grande, che rimanevano dei dubbi, i quali furono dissipati dalle misure geodetiche intraprese da una commissione di distinti dotti negli anni 1836 e 1837, da cui risulta che il livello del Mar Caspio è depresso al dissotto di quello del Mar Nero, e quindi del Mediterraneo e dell'Oceano, di 26 metri (1).

1648 L'acqua dei mari ha un peso specifico maggiore di quella dei pozzi e dei fiumi, variando da 1,0260 a 1,0280, e ciò in causa delle materie saline sciolte che le danno un sapore amaro, salato e nauseante. Vogel ha analizzato l'acqua dell'Oceano atlantico presa alla latitudine 38° e quella del Mediterraneo alla latitudine 41°, ed ha trovato che esse contengono quantità differenti di gas acido carbonico, avendone il Mediterraneo meno della metà dell'Oceano, mentre al contrario tiene sciolta maggior quantità di sali di magnesia e di calce. Eguai quantità di sal comune ha rinvenuto nelle une e nelle altre acque, contenendone 26,10 per ogni 1000 grammi, ossia poco più di $^1/_{40}$ in peso. Le *moie* sono cavità fatte in riva al mare, dove nel tempo dell'alta marea si radunano di quelle acque, che evaporando depositano le materie, da cui si estrae poscia il sal comune. La salsedine del mare pare prodotta dalle soluzioni di sali che trovansi sparsi sulla terra.

1649. Il mare ha una profondità assai irregolare, che varia anche a piccole distanze. I mari più vasti offrono in generale maggior profondità, e si ritiene che il loro fondo, al pari dei continenti, sia formato di monti, di colli, di valli, di rupi, ecc. Le isole sono in certo modo le sommità delle montagne più elevate del mare, e corrispondono d'ordinario alle catene di monti dei continenti, di cui si ritengono una continuazione Là dove le coste sono alte, dirupate e scoscese senza appartenere a catene di monti, il mare è quasi sempre profondo e burrascoso. La più alta delle coste è all'ovest di Childa, una delle isole Ebridi, elevandosi sull'acque di ben 200 metri. Le coste della Norvegia sono quasi tutte alte e dirupate, ed alle meno elevate appartengono quelle dell'Olanda. Alcuni valutano la profondità media del mare di 400 metri, facendo ascendere le più grandi a 4 in 5 chilometri; ma si è trovato nell'Oceano a qualche distanza dall'isola S. Elena che la maggiore profondità sinora misurata ascende a chilometri 9,14 (2).

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati 2ª serie, t. II, pag. 295

(2) *Annali di fisica* ecc. succitati t. VII, pag. 70 e t. VIII, pag. 49 e 50.

La profondità del mare si misura calando al fondo una lunga fune, cui è appesa una palla di piombo. Le correnti sottomarine però deviano la fune dalla verticale ed impediscono di avere dei risultamenti esatti. È stato imaginato un congegno a tal uopo detto *batometro*, il più semplice dei quali è costituito di due corpi, l'uno più denso e l'altro meno denso dell'acqua, che si calano riuniti nel mare: al momento che toccano il fondo, il meno denso è lasciato libero, e dal tempo che impiega a venire a galla si calcola la profondità cui è disceso, dalla legge previamente stabilita, come nella caduta dei gravi. Nei mari e principalmente nell'Oceano atlantico incontransi copiosi *banchi* di corallo, che sollevansi talvolta al disopra delle acque a guisa d'isolette, e spesso rimangono sotto il livello, costituendo degli scogli pericolosi alla navigazione.

1650 Lo stato differente dell'atmosfera, la natura del fondo, i principii organici misti coll'acqua, modificano in diverse maniere il *colore del mare*, il quale d'ordinario è verdognolo tendente all'azzurro. L'acqua del Mar Rosso apparisce rossiccia in causa della gran copia di corallo e di alghe; verde, pei principii organici di cui è coperta, quella del mare intorno alla Florida. Nell'Oceano atlantico vi ha l'estensione di circa 8 chilometri quadrati di acque, che presentano una vivace colorazione interrotta da zone, che varia dal rosso di mattoni al rosso di sangue, e che è dovuta, secondo le osservazioni di Montague, ad un' alga del genere protococco estremamente piccola (1).

È un fenomeno degno d'osservazione del fisico lo splendore, che si manifesta nel mare, dove il remo ne percuote le acque e lungo le pareti del naviglio da cui sono solcate. Esso fù osservato la prima volta nel Mediterraneo dall'italiano Americo Vespucci, come attesta Kircher (2), di cui due altri italiani, Vianelli e Grisellini, primi s'occuparono ad indagarne la causa, attribuendola ad animaletti microscopici lucenti (3). Vi fu invece chi lo volle d'origine elettrica per lo sfregamento delle molecole acquee; il che ora può avere qualche fondamento considerando l'azione eccitatrice dell'elettricità fra la fodera metallica del bastimento e le acque, come nella machina idroelettrica (§. 1229). La prima spiegazione fu sostenuta da Beccari che lo attri-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVI, pag. 262.

(2) *Physikalisches Wörterbuch* su citato, t. VI, pag. 1718.

(3) *Nuove scoperte intorno alle luci notturne dell'acqua marina.* Venezia; ed *Osservazioni sulla scolopendra marina lucente.* Venezia 1750

buiva alla luce delle foladi (1), e da nuove osservazioni di Viviani (2), e da altri italiani e stranieri, e più tardi dall'inglese Macartney e dall'alemanno Tilesio (3). Il fenomeno è più vivace nelle zone calde che nelle fredde, ed alcuni lo fecero dipendere da pesci in putrefazione, i quali sono fosforescenti (§. 879); ma Spallanzani ha confutato vittoriosamente una tale ipotesi (4). Lo splendore lungo i solchi delle acque fatti dalla nave, sembra di natura elettrica, per la ragione addotta, ma quello, che si osserva in distanza sulle acque tranquille, non può dipendere che da animaletti marini, che hanno, al pari delle lucciole, la proprietà di essere luminosi (§. 879), come risulta dalle osservazioni microscopiche di alcuni dei fisici su nominati e da altri, che poscia si occuparono del fenomeno

1651. Le diverse regioni dei continenti e dei mari hanno una *temperatura* dipendente dal calore centrale della terra (§. 1131) e principalmente dalla posizione più o meno favorevole a ricevere i raggi calorifici del sole secondo la loro latitudine, la quale in generale determina pure lo stato termometrico dell'aria circostante. Si eccettuano però i casi particolari di fuochi sotterranei, per cui si hanno le sorgenti delle acque termali (§. 1640) e le fontane d'acqua bollente (§. 1639). A misura che gli strati della terra si accostano al centro, il calore aumenta colle profondità secondo una certa legge (§. 1145), la quale varia nei diversi luoghi a norma della conducibilità (5). Alla sommità degli alti monti la temperatura è molto bassa.

A certe profondità dei continenti e dei mari cessa d'essere sensibile la variazione diurna ed annuale della temperatura alla superficie, per cui vi ha uno strato dove rimane costante, oltre il quale aumenta in virtù del calore centrale. La variazione diurna pei continenti, almeno nei paesi di media latitudine come i nostri, è pressochè nulla alla profondità di metr. 1,3; e l'annuale a quella di metri 24, il cui rapporto 23 : 1,3 è 19 eguale prossimamente $\sqrt{365}$, cioè alla radice del numero dei giorni dell'anno Vi può essere qualche cambiamento prodotto dalla diversa conducibilità degli strati terrestri: tuttavolta, determinata per un dato luogo la profondità *a* in

(1) *Commentar Bonon.* Bologna t. II, pag. 252 e 264

(2) *Domenico Viviani Phosphorescentia maris 14 phosphorescentium animalium speciebus illustrata.* Genova 1805.

(3) *Observations on luminos animals*, nelle *Transazioni filosofiche* del 1812, con Osservazioni di Tilesio nella *Bibliothèque britannique* Agosto 1812, p 301

(4) *Memorie della Società Italiana delle scienze*, t. II

(5) Si vegga il t. XXIII, pag. 298 degli *Annali di fisica ecc.* succitati.

riguardo alla variazione diurna e chiamando x quella durante l'anno, si avrebbe $\frac{x}{a} = \sqrt{365}$, da cui $x = a\sqrt{365}$.

Due dotti francesi, Aimé e Martins, hanno recentemente istituito un gran numero d'osservazioni sulla temperatura delle acque, il primo nel Mediterraneo ed il secondo nei mari settentrionali (1). Le loro osservazioni conducono ai seguenti risultati. I° vicino alle coste del Mediterraneo la temperatura delle acque è notabilmente più elevata che al largo durante il giorno, e talvolta più bassa durante la notte. Nel mare dello Spitzberg, alla latitudine di quasi 80°, le acque sono più fredde vicino alle coste in causa delle ghiacciaie da cui è circondato. II° L'annua temperatura media alla superficie del Mediterraneo è presso a poco eguale a quella dell'aria, nella primavera e nell'estate essa è inferiore alla media dell'aria, e nell'autunno e nell'inverno ha luogo all'opposto. Nell'inverno si abbassa mai al disotto di 10° centesimali, e nell'estate può salire a 26. Durante i mesi di luglio ed agosto le acque del mare dello Spitzberg hanno la temperatura di poco superiore allo zero. III° Lo strato d'acqua del Mediterraneo, dove non ha influenza la variazione del calore diurno, è alla profondità di circa 17 metri; e quella dello strato riguardante la variazione annuale non è ben determinata, quantunque Aimé la creda di 350 in 400 metri. Nel mare dello Spitzberg durante i due su nominati mesi, la temperatura sino alla profondità di 70 metri è ora crescente ed ora decrescente, non mai però inferiore a zero, ed oltre quel limite sino al fondo è sempre decrescente ed al disotto di zero. La temperatura media di questo strato è valutata da Martins di —1°,75, cioè superiore al punto di congelazione dell'acqua salata (§. 1138). IV° Al mattino, dopo una notte calma e serena, l'acqua alla superficie del Mediterraneo ha meno calore degli strati situati al disotto di alcuni metri, ciò che prova l'irradiazione notturna. V° Nella parte meridionale del Mediterraneo la temperatura generalmente decresce sino a 300 in 400 metri di profondità, nella settentrionale al contrario aumenta nell'inverno sino a questa profondità. Sembra dunque che la temperatura fredda del fondo di quel mare sia determinata dalla precipitazione degli strati durante l'inverno e non da correnti d'acqua sotterranee dell'Oceano.

Nei mari settentrionali l'acqua agghiaccia bensì alla superficie ma non mai al fondo, come risulta dalle osservazioni di Scoresby, Ross

(1) Gli stessi *Annali*, t. XXIII. p. 16 e 202, e t. II, 2ª serie, p. 113, t. III, 26.

ed altri navigatori. Da ciò si deduce che le variazioni della temperatura diurna ed annuale non si estendono verso il fondo; e d'altronde il massimo di densità dell'acqua è superiore al suo punto di congelazione (§ 965). Il peso specifico delle ghiacciaie dello Spitzberg si valuta di 0,898 e l'acqua di quel mare di 1,025, che non molto differisce dal peso specifico di quello dei mari posti alle minori latitudini (§ 1648). In generale la media temperatura della superficie dei mari corrisponde presso a poco a quella dell'aria e va diminuendo col crescere della latitudine, come risulta dalle osservazioni di Humboldt e da quelle di altri navigatori dal medesimo raccolte, e la sua massima è un poco inferiore a quella massima dell'atmosfera secondo il quadro presentato dal celebre Arago nell'*Annuario* del 1825.

1652. Le acque, poste in bacini più o meno vasti comunicanti fra loro, occupano complessivamente ben ¾ della superficie terrestre (§ 1635) e sono facilmente soggette per natura a movimenti (§ 547), i quali dipendono dalla gravitazione (§ 129), dalla rotazione forse del globo, dalla differenza della loro densità in causa delle variazioni di temperatura (§ 1651) e delle quantità di materie sciolte (§ 1648), e in fine dai venti che soffiano più o meno gagliardi alla loro superficie e producono il moto ondulatorio, di cui si è parlato (§ 564). Questi movimenti sono modificati nella direzione e nella velocità dalle ineguaglianze del fondo, dalle isole (§ 1649), dalle terre e dalle coste sporgenti nei mari, dai seni e dagli stretti con cui comunicano, dalle masse d'acqua dei fiumi che vi sboccano, e talvolta da vulcani marini (§ 1659), e terremoti (§ 1640), e da diverse altre circostanze di luogo e di tempo. Faremo conoscere i grandi fenomeni di questo genere spettanti alla nostra scienza, dai quali si comprenderanno facilmente gli altri moti secondari dipendenti da particolari cause.

La luna per la sua piccola distanza ed il sole per la sua grande massa sono i due astri, che più d'ogni altro esercitano la loro attrazione sul nostro globo e l'imprimono alle acque dell'Oceano, un moto periodico detto *flusso e riflusso*. Per dare un'idea del modo con cui avviene il fenomeno, sia L la luna e T la terra (fig. 513): nel punto B la terra proverà più che in ogni altro l'attrazione di quel satellite, per cui le acque dei mari, libere in causa della loro fluidità, s'innalzeranno in quel punto al disopra del loro livello. Proseguendo la luna il suo corso, le acque in B cesseranno d'essere sotto l'azione diretta dell'attrazione, e nel riabbassarsi acquisteranno una velocità per cui verranno depresse in quel punto sotto il livello ordinario. Ora, mentre l'acqua s'innalza e poscia s'abbassa nel luogo sottoposto

all'attrazione diretta, succede all'opposto verso la spiaggia dei mari, dove si usano le denominazioni all'inverso, chiamandosi l'innalzamento delle onde su di essa il *flusso* e l'abbassamento il *riflusso*. Che l'attrazione sia la vera causa del fenomeno, si deduce dall'osservare che esso avviene conformemente alle posizioni di quel satellite. Il sole esercita pure simile influenza, la quale, atteso la grande distanza cui è posto, si riduce a circa ¹⁄₃ di quella della luna. Allorchè poi le due attrazioni divengono cospiranti si ha la maggior elevazione delle acque. Il flusso e riflusso si chiamano nel loro complesso *marea*, e quando questa ha raggiunto la maggior elevazione si ha l'*alta marea* e la più grande depressione la *bassa marea*.

Analizzando poi le diverse posizioni, che prende la luna in virtù del suo giro intorno alla terra e della rotazione di questa sul suo asse, si trova che, nel periodo di ore 24 50', si ha due volte il flusso e due il riflusso. Le leggi però che si deducono sarebbero in perfetto accordo coi fenomeni, se tutta la superficie del nostro globo fosse coperta dalle acque, e queste non trovassero nei loro movimenti gli ostacoli dei continenti, delle isole, dei promontorii, dei banchi d'arena, degli stretti, dei sèni, e non fossero deviate da altre circostanze. Per tal ragione il movimento non ha luogo nei diversi mari secondo i risultati del calcolo. Non essendo della natura di questo libro di esaminare le cause che in ogni luogo influiscono sul fenomeno, ci limiteremo ad indicare le maree osservate di maggior interesse. Iº Nel *Mar Pacifico* alle Isole della Società in vicinanza d'Ottaiti la marea ascende a metri 0,32 ed alle isole Sandwich 0,81, mentre sulle coste della Nuova Zelanda in alcuni luoghi 1,62 ed in altri 3,25, e tra la Nuova Guinea e l'Australia (Nuova Olanda) ben anche 3,57 ed a Macao 3,25. IIº Nell'*Oceano Atlantico* il flusso all'isola S. Elena è di metri 1,06, alle isole Canarie 2,30 sino 2,60, alle Azorre da 1,60 sino a 2,60. Sulle coste d'America si riscontrano delle grandi variazioni: a Carlestown metri 1,95, a Rio Gianeiro 2,60, alle isole Martiniche soltanto 0,41, mentre in vicinanza del fiume S. Giovanni met. 7,80 e del fiume delle Amazzoni 9,75. Sulle coste orientali dell'Oceano Atlantico si rinvengono pure delle grandi differenze come su quelle occidentali. A Brest ascende la marea da met. 5,85 sino a 6,17, presso che eguale succede a Falmouth ed a Plimouth e su tutte le coste meridionali dell'Inghilterra; vicino all'isola di Guernesei 10,39, a quella di Iersei 12,34 ed a S. Malò 14,94 ed anche molto di più; a Cherborgo invece soltanto 6,50, a Dieppe 5,85, a Bologna di mare e Calais altrettanto. IIIº Nell'*Oceano Boreale* in vicinanza delle foci

dell'Elba e del Veser ascende la marea a metr. 3,90, nelle vicinanze del Capo Nord a circa 2,60 e nella baia di Udson a 5,20. IV° Nel *Mediterraneo* il flusso e riflusso è di poco momento: a Napoli giunge appena a metr 0,32; a Tolone, quando il mare è tranquillo, ad altrettanto; a Venezia la massima marea è di 0,97 od al più di 1,14 e circa altrettanto a Trieste, e ad Algeri non giunge a 0,00, e la brezza combinata coi venti dominanti produce un'oscillazione diurna indipendente dalla causa su nominata. Tutte queste differenze sono dovute a cause locali, ed al contrasto od alla coincidenza di altri movimenti particolari o generali dell'Oceano.

1653. Altri movimenti si rinvengono nell'Oceano, ed uno dei principali è la corrente diretta da levante a ponente, che si manifesta distinta nelle acque all'equatore, dove per vastissimi tratti non incontra ostacoli, per cui è appellata *corrente equatoriale* od *equinoziale*, e che percorre da 15 a 20 chilometri in 24 ore, ossia ha la velocità di quasi un chilometro all'ora. Questa corrente si osserva nell'Oceano Atlantico e si trova di nuovo nel Mare Pacifico, donde s'innoltra nel mare delle Indie per lo stretto dell'isola di Giava, indi si ripiega sulla punta meridionale dell'Africa e mostra di nuovo la sua presenza nell'Oceano Atlantico dirigendosi verso le coste occidentali dell'America, dove le si offre lo stretto Magellanico all'estremità meridionale per riunirsi al suo primo corso. Negli scontri diversi coi continenti, colle isole, coi banchi d'arena ecc devia dalla sua vera direzione, componendosi altresì il suo moto con quello della marea e con altri Della corrente equinoziale tengono conto e traggono profitto i navigatori nei loro viaggi. Se ne attribuiva la causa alla rotazione del nostro globo da ponente a levante combinata colla gravitazione che tenderebbe ad impedire quel moto: infatti, si diceva, nella rotazione intorno al proprio asse, la terra unitamente alla parte solida porta con sè le acque giacenti sulla sua superficie, le quali, per la legge della comunicazione del moto (§. 231), rimangono indietro e sembra quindi che trascorrono in corrente nella direzione opposta alla rotazione del globo stesso, cioè da levante a ponente, dando luogo alla corrente in discorso. Ma tanto questa come le correnti, che dalle regioni polari si dirigono verso l'equatore, dove le acque si elevano al disopra del livello naturale in virtù della maggior forza centrifuga, dipendono dalla diversa densità. La prova di tali movimenti si ha dalle masse galleggianti di ghiaccio dirette dai poli all'equatore.

La differente densità delle acque dei mari, prodotta dall'ineguaglianza di temperatura, dà luogo al movimento detto dagli Inglesi

Gulfstream, che da noi Italiani potrebbe essere designato col nome di *corrente araiogena* (generata dalla rarefazione) Il movimento ha origine verso l'equatore, dove le acque, dilatate dal calore, cedono il posto a quelle più dense provenienti dalle fredde regioni e formano, a somiglianza del termosifone (§ 973), due correnti, l'una d'acqua fredda diretta dalle zone polari verso la torrida, e l'altra d'acqua calda in opposto verso. Il fenomeno fu esaminato da Sabine, Rennel, Humboldt ed altri navigatori. In vicinanza all'equatore, la corrente araiogena s'incontra con quella equinoziale, che si ripiega e si ricongiunge coll'altra lungo le coste dell'America. Per noi Europei si può considerare che abbia origine nel golfo del Messico dalle acque calde spinte dalla corrente equinoziale in ogni seno di mare, la cui temperatura è aumentata dalle sorgenti sotterranee delle Antille; talchè, a malgrado dell'affluenza delle acque fredde del nord, la loro temperatura in novembre fu osservata da Sabine ancora di 27° centesimali La velocità misurata dallo stesso Sabine ascende in alcuni luoghi a 130 sino a 148 chilometri in 24 ore con cui si accordano le misure prese da Rennel, Humboldt ed altri. Una tale velocità però va diminuendo colla temperatura a misura che la corrente si discosta dall'equatore. Tuttavolta Scoresby ha rinvenuto le acque calde della corrente araiogena lungo le coste della Norvegia, da dove procede sino alla Nuova Zembla ed allo Spitzberg. Il che è confermato dalle recenti osservazioni di Martins, il quale ha trovato che le acque tiepide della corrente araiogena liquefanno alla base le ghiacciaie, che sulle coste dello Spitzberg si protendono nel mare; mentre nella baia di Baffin, ove non entra la corrente, la temperatura della superficie dell'acqua è sempre al disotto dello zero e le ghiacciaie s'estendono dentro il mare

1654. Nelle acque dei mari avvengono molti moti dipendenti da cause particolari. Due correnti in opposta direzione, che s'incontrano lateralmente, generano il *moto vorticoso*; e ne nasce il *gorgo* quando una corrente urta contro una rupe, come è il celebre di Cariddi lungo le coste dell'Italia dirimpetto alla Sicilia e il Mahlstrom lungo le coste della Norvegia (§. 370).

Correnti s'incontrano quasi sempre negli stretti: in quello di Gibilterra si scorge alla superficie che l'acqua affluisce dall'Oceano nel Mediterraneo. Non sembrando che a maggior profondità vi sia una corrente contraria uscente (§ 1651), bisogna conchiudere che il Mediterraneo perda coll'evaporazione più di acqua che non ne riceva direttamente dall'atmosfera, come pure dal Nilo, dal Rodano, dal Po,

dal Danubio e dagli altri minori fiumi i quali vi mettono foce, e che l'Oceano supplisca a tale maggior perdita. I venti meridionali infatti, provenienti dal clima cocente dell'Africa, passano sulla superficie del Mediterraneo e contribuiscono assaissimo ad accelerarne e renderne copiosa l'evaporazione scemandone notabilmente le acque. Il mar Caspio, sottoposto all'egual influenza, ha un livello molto più depresso (§ 1647), per non essere, come il Mediterraneo, compensata dall'Oceano la maggior perdita delle sue acque. Le osservazioni continuate di Aimé dimostrano che il livello del Mediterraneo è più basso durante i mesi in cui non piove che negli altri, potendo la differenza giungere a metri 0,2. I venti di levante inoltre, opposti alla corrente dello stretto, ne abbassano il livello e quelli di ponente lo innalzano (1). Tutto questo però non basterebbe ancora a spiegare la grande differenza del suo livello col Mar Rosso (§ 1647). Noi riteniamo che una tale differenza sia prodotta dalla corrente equinoziale, la quale dal mare delle Indie spinge le acque nel golfo del Mar Rosso (§ 1652) e ve le accumula rendendone il livello molto superiore a quello del Mediterraneo, dove la stessa causa, quando vi avesse influenza, dovrebbe produrre l'effetto contrario per essere esso in comunicazione coll'Oceano dalla parte opposta alla direzione di quella corrente.

1655. Le acque, filtrando nella terra, scaturiscono verso il basso sotto forma di sorgenti (§ 1642); talvolta però giungono al disotto di strati laterali d'argilla o di creta o di rocce compatte e resistenti nella cui impermeabilità trovano ostacolo al loro corso e restano così rinchiuse in ampi serbatoi e premute dai filetti liquidi superiori. Se quindi si aprirà un foro in quegli strati, l'acqua zampillerà sopra il suolo all'altezza debita alla pressione (§ 550), e si avrà così una *fontana naturale*. Da tali principii dipendono i *pozzi modenesi* detti in generale *pozzi saglienti* o *trivellati*. Questi pozzi infatti furono la prima volta scavati in Italia poco lungi dagli Apennini nel Modenese, da cui presero in origine il nome, e Domenico Cassini ne fece aprire uno a Forte Urbano fra Modena e Castelfranco lungo la via verso Bologna, da cui l'acqua sale nell'aria libera all'altezza di 3 metri sul suolo, e che io vidi nel 1833. Cassini, chiamato poscia a Parigi da Colbert per far parte dell'Accademia R. delle scienze istituita nel 1664, li fece conoscere in Francia (2), dove i primi furono scavati nella provincia d'Artois, e perciò dai Francesi denominati *artoisiens*, da cui alcuni

(1) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. xxviii, pag. 51.

(2) *Mémoires de l'Académie R. des sciences*, Parigi 1666, t. i, pag. 96.

italiani pedisequi trassero l'ibrido nome d'*artesiani*. I pozzi saglienti si moltiplicarono in quella parte d'Italia, come risulta dall'opera di Bernardino Ramazzini tradotta in inglese, in francese ed in tedesco (1).

Nel presente secolo si perfezionarono le trivelle, gli strumenti e tutti gli ordigni per operare a grandi profondità ed ottenere delle acque saglienti in quei luoghi, dove i serbatoi d'acqua giacciono a parecchi centinaia di metri sotto il suolo. Il pozzo più profondo conosciuto di questa specie è quello scavato a Mondorff nel ducato di Lussemburgo scaturendo l'acqua da metri 671 al disotto del suolo (2). La temperatura dell'acqua a quella profondità si trovò di 34° centesimali, mentre in un vicino pozzo comune a 5 metri era di 11°,5 centesimali, da cui si deduce l'accrescimento della temperatura andando verso il centro terrestre (§ 1651). Nella trivellazione del suolo si ha per iscopo eziandio di riconoscere la natura degli strati terrestri sottoposti. In Siberia fu operata una trivellazione alla profondità di metri 216, dove si trovò la temperatura ancora di 3° centesimali sotto lo zero (3). Molti altri pozzi saglienti furono scavati in Europa, fra i quali faremo menzione di quello di Grenelle a Parigi e dell'altro nel palazzo reale a Napoli (4). Il pozzo di Grenelle ha la profondità di metri 547 e nei primi 9 metri ha presentato un terreno d'alluvione, nei 31 seguenti materia argillosa e sabbia quarzosa, poscia per altri 99 materia bianca di creta e silice, indi per 23 creta grigia e silice, dopo cui un grande strato di 341 metri di creta grigia assai dura alternata con argilla micacea, cui ne seguono 40 d'argilla turchiniccia, verde e nera mista con mica, fossili e piriti di ferro, infine 2 metri di sabbie verdi argillose. Il pozzo di Napoli, quantunque poco distante dal mare, si estende molti metri al disotto del livello del medesimo. I terremoti intorbidano le acque dei pozzi saglienti e delle sorgenti, come è avvenuto in quello di Grenelle in virtù del terremoto accaduto nell'Alta Normandia e nella Bretagna (5), nei pozzi comuni di Lisbona pel terremoto, che scosse nello scorso

(1) *De fontium mutinensium admiranda scaturigine tractatus physico-hydrostaticus*, Mutinae 1691 in 4, tradotto in inglese, Londra 1697, in francese, Ginevra 1717, e per estratto negli *Atti di Lipsia*, pag. 503. Si vegga su tale argomento l'opuscolo di Carena, *Serbatoi artificiali d'acqua ecc. giuntavi un'appendice sui pozzi saglienti*, Torino 1820.

(2) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. XXII, pag. 272.

(3) *Annali suddetti*, t. XXIII, pag. 298 e t. XXVI, pag. 71.

(4) Gli stessi *Annali*, t. I, pag. 505, II, 270, XIV, 69, come pure XXIII, 298.

(5) I medesimi *Annali*, t. XXI, pag. 70.

secolo quella città; e più recentemente nelle sorgenti d'acque termali d'Aix in Savoia per causa consimile.

1656. Alla categoria dei fenomeni terrestri appartiene il magnetismo del nostro globo, potendosi esso considerare come un'immensa calamita, i cui *poli* cadono, dove l'inclinazione risulta di 90 gradi (§. 1614), e coincidono quasi coi poli astronomici come devo essere (§. 1628), discostandosene soltanto di circa 10 in 12 gradi. L'*equatore magnetico* a dir vero è una linea flessuosa, che si compone della riunione di tutti i punti dove l'inclinazione è nulla e gira intorno al globo tagliando l'equatore geografico in due punti sotto l'angolo di circa 12°. L'equatore magnetico varia col tempo al variare dell'inclinazione (§. 1619). Si riunirono altresì sul globo terrestre tutti i luoghi d'eguale declinazione formando così le *linee isogoniche*, le quali sono pure flessuose, e formano i meridiani magnetici, che non coincidono coi meridiani geografici.

Dai due lati dell'equatore magnetico vi sono i punti d'eguale inclinazione, dalla cui riunione si formano le *linee isocline*, le quali sono parecchie di numero andando dall'equatore verso i poli flessuose senza conservarsi fra loro parallele, potendosi considerare rispetto al magnetismo ciò che sono i paralleli nella geografia. Lo stesso si dica delle *linee isodinamiche* risultanti dall'unione dei luoghi di egual forza magnetica. Siccome la declinazione, l'inclinazione e l'intensità magnetica variano da un anno all'altro nello stesso luogo; così una *carta magnetica* disegnata ad una data epoca non corrisponde più allo stato del globo in altro, per cui le carte magnetiche devono essere di tempo in tempo verificate e corrette.

Presentiamo in un quadro i risultati delle osservazioni magnetiche delle principali città italiane *disposti secondo l'ordine dell'intensità totale detta* 1 *quella di Roma*, unitamente *all'intensità orizzontale relativamente pure a quella di Roma presa per unità*; cui aggiungiamo simili valori di alcune delle più cospicue città d'Europa (1).

(1) *Annali di fisica*, ecc più volte citati, t. III, pag 81

CITTÀ	LATITUDINE	TEMPO dell'osservaz.	INTENSITÀ orizzontale	INCLINAZ	INTENSITÀ totale
ITALIANE					
Ciamberi	45°. 34'. 8''. N.	*luglio* 21 1838	0,889	64°. 38',0	1,028
Milano	45. 28. 0. »	*giugn.* 10 »	0,907	63. 54,7	1,021
Venezia	45. 25. 47. »	*apr.* 11 »	0,922	63. 21,9	1,020
Trieste	45 38. 37. »	*apr.* 4 »	0,921	63. 20,5	1,019
Firenze	43. 46. 41. »	*magg* 28 »	0,955	62. 05,5	1,014
Torino	45, 4. 6. »	*giugn.* 17 »	0,893	63. 52,2	1,007
Roma	41. 53. 54. »	*magg.* 18 »	1,000	60. 14,0	1,000
Napoli	40. 51. 57. »	*magg.* 7 »	1,012	59. 05,1	0,985
ESTERE					
Londra	51. 30. 49. »	*giugn.* 16 1837	0,685	69. 16,0	1,072
Berlino	52. 30. 16. »	*dic.* 16 »	0,799	68. 08,5	1,065
Parigi	48. 50. 13. »	*agost.* 17 »	0,816	67. 20,8	1,050
Ginevra	46. 12. 5. »	*agost.* 25 »	0,887	64, 49,8	1,034

Riguardo alla declinazione aggiungeremo, a quanto si disse altrove (§. 1619), che a Londra era a zero nel 1657 ed a Parigi nel 1664, ed avanti quest'anno orientale, dopo cui divenne occidentale com'è al presente. Per rispetto all'Italia si apprende dalla *Geografia Riformata* di Riccioli, che a Padova la declinazione magnetica nel 1600 era di 5° orientale essendo passata per lo zero e divenuta nel 1670 5° occidentale, accresciuta nel 1725 a 13°, e nel 1796, secondo Toaldo, a 18°. 19'. 30''. Potrebbe benissimo accadere che in Europa la declinazione andasse col tempo scemando verso l'occidente per ritornare a zero e dirigersi di nuovo all'oriente.

CAPITOLO SECONDO

DEI FENOMENI ATMOSFERICI.

1637. L'atmosfera è formata dell'enorme quantità d'aria, che circonda il nostro globo, di cui conosciamo le proprietà mecaniche e fisiche (§. 588 e seguenti) ed i componenti colle proprietà chimiche (§. 725 e seguenti) Nel suo seno nascono ed appariscono le *meteore*, diventando così il teatro di tutti i *fenomeni atmosferici*, di cui è soggetto la *meteorologia*. Le meteore sono aeree ed umide, ignee e lucide, ed alla loro formazione concorrono, non solo i corpi ponderabili allo stato di gas e di vapori ed a quello concreto, ma eziandio le sostanze imponderabili o i principii della luce, del calore e dell'elettricità col magnetismo.

Il sole e le stelle fisse sono le principali fonti, che versano nell'atmosfera il *fluido luminoso* (§. 879), da cui prendono origine parecchie *meteore lucide*. Da quel gran luminare si diffonde altresì il *calorico*, che riscalda la terra e l'atmosfera (§. 1144); a cui hanno qualche minima parte gli altri astri (§. 1145). Le diverse regioni del globo, prendono più o meno calore secondo le rispettive posizioni in riguardo al sole. L'*elettrico* deriva dalla terra e si accumula nell'atmosfera principalmente nei giorni temporaleschi quando il cielo è ingombro di nubi, dal che hanno origine il lampo, il tuono, la folgore ed altre *meteore lucide* ed *ignee*. Franklin fu il primo che concepì la felice idea di servirsi del potere delle punte (§. 1265), onde provare che la folgore dipende dallo stato elettrico delle nubi. Faceva egli salire nell'aria un cervo volante (§. 271), sulla cui superficie erano sparse parecchie punte conduttrici in comunicazione con un sottile filo metallico intrecciato colla funicella stessa dell'apparecchio. In tal modo l'elettrico dall'atmosfera, carica in più, veniva condotto in presenza dell'osservatore e viceversa quando era elettrizzata in meno, tenendo la funicella per mezzo d'un cordoncino di seta Cavò egli dall'estremità del filo delle scintille, caricò delle boccie di Leida ed ottenne i fenomeni ed il fluido coi caratteri identici a quello delle comuni macchine elettriche Beccaria ed altri in Italia, Romas in Francia e parecchi fisici nel rimanente dell'Europa confermarono con somiglianti sperienze le deduzioni dell'illustre Americano. Si eressero altresì delle spranghe acuminate sopra alte torri ed altri eminenti edifizi per esplorare lo stato elettrico dell'atmosfera in ogni

tempo, e si giunse ai medesimi risultamenti. In queste sperienze bisogna prendere le necessarie precauzioni per non essere sottoposti al pericolo d'essere fulminato, essendo Richmann a Pietroborgo stato vittima d'una poderosa scarica, che colpì la spranga da lui eretta per riconoscere lo stato elettrico delle nubi.

1658. L'atmosfera merita non solo d'essere esaminata in riguardo ai fluidi imponderabili, da cui dipende la temperatura in cui vive la specie umana e le meteore lucide ed ignee come pure la declinazione magnetica (§. 1628); ma eziandio in riguardo ai fluidi ponderabili che s'innalzano nella medesima dalla terra (§. 588) e principalmente al vapor acqueo che vi è sparso in quantità enorme (§ 1643) e da cui nascono tutte le meteore umide. Negli spazi rinchiusi, la formazione del vapore succede egualmente nel vuoto e nell'aria posta eguale la temperatura (§. 612); per la meteorologia però importa *di determinare la rapidità dell'evaporazione all'aria libera* (§ 638) e la *maniera di misurarla, differendo essa dalla rapidità dell'evaporazione sotto l'azione immediata del fuoco* (§ 1167).

Tre sono le cause che influiscono sulla rapidità dell'evaporazione all'aria libera: la *temperatura, la quantità dei vapori preesistenti* e lo *stato di calma o d'agitazione dell'atmosfera*. Infatti, il passaggio dell'acqua in vapore dipende interamente dalla temperatura (§. 613), cui corrisponde per ogni grado una tensione massima (§. 615), alla quale cessa ogni ulteriore evaporazione per eguagliare essa la forza elastificante dell'acqua al grado stesso di calore. È appunto per questo che l'agitazione dell'atmosfera, portando sulla superficie del liquido nuovi strati d'aria al dissotto della tensione massima, facilita l'evaporazione e la rende più rapida. Dalton istituì somiglianti sperienze con un vaso cilindrico del diametro di cent. 15,24 (poll. ing. 6); e chiamando F la tensione massima del vapore alla temperatura cui operava ed f la tensione dei vapori preesistenti, rinvenne che la quantità d'evaporazione è costantemente proporzionale ad $F-f$ nelle stesse circostanze d'aria calma od agitata Se quindi sia φ la tensione massima a 100°, ed m decigram la quantità di liquido evaporato ad un tal grado di calore ed all'aria secca per l'unità di superficie; la quantità x di vapore ad una temperatura qualunque cui corrisponde la tensione massima F, e nel caso d'aria umida i cui vapori hanno la tensione f, si avrà dalla proporzione

$$\varphi : F-f :: m : x = \frac{m\,(F-f)}{\varphi}.$$

Dalton ha trovato che, per la superficie circolare del diametro di

cent. 15,24 (poll. 6), l'evaporazione in un minuto alla temperatura dell'ebollizione e dell'aria secca e tranquilla risulta di decigr. 77,69 (gr. ingl. 120). Ora la superficie evaporante equivale a decimetri quadrati 1,82, e quindi la quantità di liquido evaporato in un minuto sopra un dec quadr. viene ad essere decigram. 42,59, che sarà il valore di m per la tensione $\varphi=30$ poll. ingl. od a 762 millim. La quantità d'evaporazione in un minuto sarà quindi, per l'aria tranquilla, $q = \frac{42,59\ (F-f)}{762}$ decigrammi. Volendo presentare un'applicazione di questa formola, sia la temperatura dell'atmosfera di 20° cui corrisponde la tensione massima F=17,393 millim. (§. 615), ed il punto di rugiada dato dall'igrometro (§. 636) o la temperatura, cui incomincia a depositarsi il vapore, di 10° la cui tensione massima chiamata F'=9,145 millim. (§ 615). Il valore di f, che è la tensione reale del vapore preesistente nell'aria alla temperatura data di 20°, si ha dall'equazione $f=\frac{F'(1+cT)}{1+ct}$ superiormente trovata (§. 626 V), dove T=20°, t=10°, e il coefficiente di dilatazione c=0,3665 (§.611): sostituendo questi valori risulta f=9,468. Dunque si avrà in questo caso $q = \frac{42,59\ (17,393-9,468)}{762}$, ossia q=0,44. cioè la quantità di evaporazione in un minuto primo e sulla superficie di un decimetro quadrato sarebbe nello stato di calma di decigram. 0,44. Quando l'atmosfera è molto agitata, l'evaporazione diventa una metà di più, e nel nostro caso di decigram. 0,66 sopra un dec. quad. per ogni minuto.

Nella meteorologia le osservazioni raggiungono meglio delle sperienze lo scopo della determinazione della quantità d'acqua che passa in vapore durante un giorno nelle diverse stagioni dell'anno, al cui fine serve l'*atmometro* od *admidometro*. Il più semplice e il più adatto per tale determinazione consiste in un vaso di piombo o di latta, di forma prismatica a base quadrata di 5 decimetri di lato e della profondità d'un decimetro. Si riempisce d'acqua sino ad una certa altezza, avendosi con ciò la superficie di 25 decimetri quadrati od 1/4 di met. quad. esposta all'evaporazione. Una larga tettoia lo difende dalla pioggia, essendo interamente aperto ai quattro lati per lasciare libero l'adito all'aria e alla dispersione dei vapori. Si è lasciato anche scoperto, tenendo conto dell'acqua caduta dal cielo. È applicata sulla parete del vaso una scala in cent. e millim., da cui si conosce la quantità d'acqua passata in vapore durante un dato tempo. Siccome

poi l'evaporazione è proporzionale alla superficie dell'acqua; così si raccoglieranno i dati per determinare la quantità di vapore, che si forma alla superficie d'un lago o simili (1) Si è all'appoggio di osservazioni di questa natura che si è valutata la quantità d'acqua che evapora sulla superficie di tutte le acque del globo (§. 1043).

1659. L' umidità dell' aria si misura mediante gl' *igrometri* (§. 625 al 638) coi quali si è messo fuor di dubbio che, dove sonvi molti canali, fiumi, laghi, stagni ecc., l'atmosfera è più umida che là ove scarseggiano e dominano invece venti asciutti. Alla pianura e nei luoghi bassi l'umidità è massima al mattino, va diminuendo verso le 2 ore pomeridiane, ed aumenta poscia sino a raggiungere di nuovo il massimo al mattino. Sui monti e sui luoghi elevati accade il contrario: l'umidità è maggiore nelle ore pomeridiane che nelle mattutine, per la ragione che dal suolo della pianura riscaldato s'innalzano le masse vaporose, le quali alla bassa temperatura dei monti si condensano e depongono l'umidità. I venti caldi in generale sono pregni di vapori e portano l'umidità nei paesi di minore temperatura dove giungono; al contrario è dei freddi. Adoperando il psicrometro per esplorare l'umidità atmosferica, si può valutarla colle formole date (§. 638) ed anche col metodo grafico proposto dal prof. Cavalieri (2). Tutti i fenomeni dell'umidità atmosferica si comprendono facilmente coi principii esposti (§. 624), dove si è mostrato che *l'umidità non si deve confondere colla quantità di vapore acqueo contenuto in un dato spazio.*

1660. Si è altrove rinvenuta l'espressione della densità del vapor acqueo in rapporto all'aria a zero presa per unità (§. 620), ed al fine di *determinarne la quantità diffusa in un dato spazio atmosferico* è necessario di trovare il valore della densità relativamente all'acqua. Il peso d'un centimetro cubo d'aria secca, a zero ed alla pressione 760^{mm}, è di 0,0012932 grammi (§. 617), diventando il suo volume a 100° 1,3665 centimetri cubi (§. 611), per cui a questa temperatura un solo grammo avrà il volume di $\frac{1,3665}{0,0012932}=1056,68$ centimetri cubi. Un grammo di vapor acqueo, a 100° ed a 760^{mm} di pressione, prenderà il volume di centimetri cubi $\frac{1056,68}{0,622}=1698,84$, per essere i volumi in ragione inversa delle densità (§. 135) e 0,622 la

(1) *Essai sur l'hygrométrie*, di Saussure. Neuchatel 1783, §. 239 e seguenti

(2) Si vegga colla fig. negli *Annali di fisica* ecc., t. xxvii, pag. 254

densità del vapore detta 1 quella dell'aria (§. 619). Si deduce dunque che un centimetro cubo d'acqua del peso d'un grammo (§. 44), passando in vapore a 100° ed a 760mm, si espande in 1698,84 centimetri cubi, vale a dire che acquista un volume quasi 1700 volte più grande. Sarà dunque la densità del vapore, a 100° ed a 760mm relativamente all'acqua a zero, espressa da $\frac{1}{1698,84}=0,000588637$

È facile altresì di ricavare una formola per avere la densità d del vapor acqueo a qualunque temperatura t ed alla corrispondente tensione massima p in rapporto all'acqua a zero presa per unità, sapendosi che lo stesso vapore alla temperatura $T=100°$ ed alla pressione, $F=760^{mm}$, ha la densità $D=0,000588637$ Infatti, nella formola altrove trovata (§. 620), si sostituiscano questi valori, ritenendo che è $c=0,003665$ il coefficiente di dilatazione per ogni grado termometrico (§. 614); e si avrà $d=p.\frac{0,000588636\ (1+0,3665)}{760\ (1+0,003665\ t)}$ la quale si riduce a $d=p.\frac{0,001443856}{1364,2+5t}$, che è la formola richiesta.

Avendo la densità d rispetto all'acqua e sapendo che il peso $m=dv$ dove v è il volume (§. 135), l'equazione precedente si trasforma in $m=p.\frac{v.\ 0,001443856}{1364,2+5t}$, che esprime il peso m d'un volume di vapor acqueo alla temperatura t ed alla corrispondente tensione massima p, nel peso del volume v d'acqua a zero. Ora il volume v d'un decimetro cubo d'acqua alla sua massima densità pesa 1 chilogrammo (§. 44) che a zero risulta di chilogrammi 1,0000746 (§. 963), per cui sarà $m=p.\frac{1,0000746\times0,001443856}{1364,2+5t}$ ossia $m=p.\frac{0,001443964}{1364,2+5t}$, dove t è il punto di rugiada o la temperatura cui si deposita il vapore dell'aria umida che si esplora ed a cui corrisponde la tensione massima p, ed il valore di m è espresso in chilogrammi pel volume d'un decim. cubo. Volendolo in grammi per lo spazio d'un metro cubo sarà $m=p\ \frac{1443,964}{1364,2+5t}$. Supponiamo che coll'igrometro (§.636) siasi trovato $t=10°$, e quindi abbiasi $p=9,145$ (§. 615): sostituendo risulta $m=9,3375$ grammi; vale a dire che in un metro cubo d'aria, il cui punto di rugiada è risultato di 10°, si conterrebbero grammi 9,3375 d'acqua in vapore.

1661. Dal sole proviene il calorico che riscalda la superficie terre-

stre (§. 1144), e da questa prende il suo calore l'atmosfera senza che vi abbia parte sensibile l'irradiazione diretta di quell'astro (§. 1031). È appunto per tal ragione che, non soffiando venti meridionali, la neve disgela prima negli strati inferiori che nei superiori esposti ai raggi solari. Siccome poi le diverse regioni non sono egualmente riscaldate, dipendendo la loro temperatura dall'esposizione, che prendono nella rotazione diurna della terra intorno al suo asse e nella rivoluzione annua intorno al sole, così il calore dell'atmosfera varia secondo la posizione geografica dei diversi paesi. Colle indagini sulla temperatura dell'atmosfera si stabilisce dunque uno degli elementi, che costituiscono il *clima fisico* o reale d'un luogo, che non bisogna confondere col *clima astronomico*.

Le diverse regioni della terra ricevono maggior copia di calorico nell'estate che nell'inverno, in causa che nella prima stagione i raggi solari, oltre cadere sulla superficie terrestre per maggior numero di ore durante l'intera giornata, riescono meno obliqui In tal caso, seguendo i poteri assorbente ed emittente l'egual legge (§. 1105), ha luogo un maggior accumulamento di calorico in ragione del seno dell'angolo d'incidenza (§. 1119). I raggi solari dunque, cadendo meno inclinati sulle zone terrestri che più s'avvicinano all'equatore, producono un più grande riscaldamento quanto è minore la latitudine dei paesi, e quindi la temperatura deve crescere andando dai poli all'equatore. Si danno però parecchie circostanze che fanno variare questa legge: I. Le *pioggie*, non solo assorbono il calorico terrestre per la molta capacità dell'acqua (§. 1039), ma lo disperdono in gran copia latente nei vapori (§. 1015), che si formano e si elevano dalla terra Ad un'estate piovosa quindi succede d'ordinario un inverno rigido, non essendosi potuto radunare nella prima stagione abbastanza calore per supplire all'irradiazione notturna e raddolcire nella seconda il raffreddamento dell'atmosfera. Si è all'appoggio del calore, il quale nelle diverse circostanze può essere accumulato sulla terra, che Hutchinson ha dedotto delle regole per predire la temperatura probabile dei mesi d'inverno da quelli corrispondenti dell'estate precedente. I mesi, che si corrispondono, sono, secondo lui, *agosto* con *ottobre* — *luglio* con *novembre* — *giugno* con *dicembre* — *maggio* con *gennaio* — *aprile* con *febbraio*. Se, per es., in agosto siasi avuto un calore superiore all'ordinario, la temperatura d'ottobre seguente riuscirà al disopra della media, e così degli altri (1). II. La *costitu-*

(1) *Annali di fisica* ecc più volte citati, t. v, pag 261

zione del suolo più o meno atto ad assorbire, a contenere o ad emettere il calorico (§. 1132), per cui lo stato di coltura influisce molto a ricevere ed a disperdere il calorico per irradiazione. III. La *prossimità di grandi bacini d'acqua*, come laghi, mari, imperciocchè, oltre la sua grande capacità pel calorico, essendo l'acqua diatermica (§. 1071) all'opposto delle terre, delle pietre, delle rocce ecc.; i raggi caloriﬁci giungono al fondo, dove si accumulano per esserne emessi al giungere della fredda stagione, diventando così amplissimi serbatoi di calorico, che rendono meno rigida l'atmosfera nell'inverno: Per tal ragione appunto i paesi sulle coste dei mari e sulle rive dei laghi godono d'una temperatura più mite di quelli posti nell'interno; come pure negli inverni rigidi le acque gelano prima in vicinanza alle rive che verso il largo dei mari e dei laghi, e il mezzo dei fiumi. IV. I *fuochi sotterranei* (§. 1639), ed inoltre i vulcani (§. 1637) e le sorgenti termali (§. 1646). V. I *venti* influiscono pure sulla temperatura del paese dove dominano, e la rendono meno rigida d'inverno se provengono da calde regioni. Queste ed altre circostanze fanno variare il grado di calore dipendente dalla posizione geografica di un luogo, e sono difficili ad essere valutate, per cui si è ricorso all'osservazione per determinare la temperatura delle diverse regioni del globo.

1662. Importa di avere a disposizione dei buoni termometri per determinare esattamente le temperature (§. 992), ottenendone le estreme o col termometrografo (§. 999), o col termometro al massimo ed al minimo (§. 1000), o col termometro ad indice (§. 1001). La condizione principale pel conseguimento della giusta temperatura dell'atmosfera è l'esposizione dello strumento al settentrione, all'aria libera ed alla conveniente distanza dal muro cui è appeso, come pure il collocamento di esso in luogo aperto fuori dell'influenza d'ogni superficie riflettente, difendendolo al bisogno dall'irradiazione dei corpi circostanti. Si avrà cura, quando fosse bagnato di pioggia, di asciugarlo qualche tempo prima di osservarne la temperatura, d'impedire che nell'inverno sia colpito dalla corrente d'aria calda uscente dalla finestra, e d'usare in generale tutte le cautele indicate (§. 996).

1663. La temperatura varia nel corso del giorno: si domanda quindi a qual ora convenga osservare il termometro per valutare il calore relativo dei diversi paesi? Non potendosi questo stabilire dalla temperatura di qualche ora, si è convenuto di prendere la *temperatura media giornaliera*, la quale, a dir vero, risulterebbe dalla somma di quelle di tutti gli istanti o almeno di tutte le ore divisa

pel numero degli istanti o delle ore medesime. Riuscirebbe malagevole però la continuazione delle osservazioni orarie e molto meno per ogni istante in tutto il corso del giorno e della notte. Fortunatamente le variazioni si succedono con lentezza e, nell'intervallo ben anche d'un'ora, i cambiamenti d'ordinario sono appena sensibili, rimanendo il termometro talvolta stazionario ed essendovi di rado divario d'un grado. Si raggiunge perciò con abbastanza esattezza lo stesso risultato prendendo la media di poche osservazioni istituite nel corso dell'intera giornata. Chiminello è stato il primo che, pel corso di tre anni, dal 1778 al 1780, ha fatto le osservazioni d'ora in ora (1), e molto più tardi Brewster ed altri se ne occuparono avendo trovato, al pari del fisico italiano, che possono essere ridotte a numero molto minore per ottenerne la media giornaliera (2).

Durante le 24 ore del giorno la minima temperatura succede d'ordinario poco prima del levare del sole, e la massima dopo mezzodì, tanto più tardi quanto più la stagione è calda. È bensì vero che al mezzodì i raggi solari cadono sulla terra nella direzione più favorevole per riscaldarla, dopo cui divengono obliqui e le comunicano minor calorico. Questo però si mantiene ancor maggiore del calorico disperso per irradiazione, e l'aumento di temperatura continua lentamente per alcune ore del pomeriggio. Diventando i raggi sempre più obliqui, l'acquisto per assorbimento giunge al fine ad eguagliare la perdita per irradiazione, e poscia incomincia il raffreddamento, il quale prosegue con una certa rapidità sino al tramonto del sole, indi con estrema lentezza durante la notte raggiunge il minimo del seguente mattino. Allo scopo di meglio riconoscere l'andamento della temperatura giornaliera, riportiamo i risultati medii delle osservazioni di Pianigiani istituite a Siena nel decennio del 1839-1848, all'altezza di metri 348 sul livello del mare ed alla latitudine di 43°. 18'. 6" settentrionale; e quelle di Chiminello a Padova nei nominati anni all'altezza di metri 21 ed alla latitudine 45°. 23'. 41":

(1) *Saggi scientifici*. Padova 1786, t. I, pag. 195 e 208. Si vegga eziandio il *Physikalisches Wörterbuch* ecc. t. IX, pag. 504 e seguenti.

(2) Per le osservazioni orarie di questi fisici ed anche di Chiminello, si vegga il *Corso completo di meteorologia* di Kaemtz, tradotto in francese. Parigi 1842, pag. 44 e seguenti.

	SIENA			PADOVA		
Dalle 9 matt. al mezzodì *aumento medio*	2°,01	per ora	0°,670	2°,08	per ora	0,693
Dal mezzodì alle 3 sera *aumento medio*	0,20	»	0,067	0,56	»	0,187
Dalle 3 alle 9 sera *diminuzione media*	2,37	»	0,395	3,60	»	0,600
Dalle 9 sera alle 9 matt. *diminuzione media*	0,07	»	0,006		*insensibile*	

L'accrescimento della temperatura a Siena nelle tre ore del mattino è dieci volte più rapido di quello delle tre ore dopo mezzodì, la differenza è minore a Padova meno elevata di Siena. La diminuzione che segue risulta a Siena quasi più lenta della metà del primo aumento, al contrario di Padova. Durante la notte il corso della diminuzione succede con tale lentezza che ha una rapidità minore della centesima parte di quella dell'aumento del mattino.

1664. Nel presente secolo le osservazioni termometriche si moltiplicarono in ogni parte del globo con istrumenti più perfetti. Ma ovunque non sono istituite con un piano uniforme per mettere a confronto il calore dei diversi luoghi della terra. Ad ogni modo l'Italia conta parecchie serie che, pel periodo d'anni e per le regioni cui si estendono, primeggiano su molte di quelle di simil genere altrove istituite. Omettendo le osservazioni meteorologiche estese nell'ultima metà del secolo XVII a tutta la *Toscana* ed alla *Lombardia* sotto la direzione dell'Accademia del Cimento (§ 986) le cui temperature, per ritrarne profitto nel confronto colle odierne, dovrebbero essere tradotte in gradi centesimali; rammenteremo soltanto che a *Torino* per opera di Vassalli e dei suoi predecessori si è istituito nel corso di 61 anni, dal 1757 al 1817, una serie di osservazioni i cui risultamenti trovansi registrati nel t. XXIV delle *Memorie della R. Accademia delle scienze* (1), e che a *Milano* sotto la direzione di Cesaris e del suo antecessore si ha altro periodo di 69 anni, dal 1763 al 1832, di cui egli dà circostanziato ragguaglio nel t. XVIII delle *Memorie della Società italiana delle scienze* (2). Molto prezioso riesce per la

(1) Le osservazioni sono istituite alla R. Accademia delle scienze ed ora continuate per cura del cav. Carena, segr. gen. della medesima.

(2) A dir vero il ragguaglio di Cesaris comprende soltanto il periodo dal 1763

scienza il periodo di 40 anni, dal 1803 al 1842, dovuto alla sagacità ed alla diligenza di Gerolamo Venerio d'*Udine* e, dopo la morte di lui, pubblicato dal fratello col sussidio di Giambattista Bassi in bellissimo volume in 4°, facendone dono alle principali specole d'Italia e d'oltramonte (1). Di grande importanza per la posizione è l'altro periodo di 60 anni non interrotti d'osservazioni meteorologiche istituite a *Palermo* per cura degli astronomi di quella specola (2). Del resto a *Napoli*, a *Firenze*, a *Padova*, a *Venezia*, a *Parma*, a *Catania*, a *Roma*, a *Verona*, a *Genova*, a *Pavia*, a *Pisa*, a *Mantova*, a *Cagliari*, a *Trieste*, a *Malta*, ed in molte altre città d'Italia si fanno osservazioni più o meno regolari. Vi hanno atteso altresì con particolare amore a *Siena* il professore Pianigiani (3), a *Bologna* gli astronomi della specola sotto la direzione di Caturegli, di cui si è pubblicato l'ultimo decennio dal dottore Palagi (4), e si è da qualche anno eretta ad *Urbino* una nuova specola meteorologica dal professore Serpieri (5).

1665. Chiminello nelle osservazioni orarie ha dimostrato che, per avere la temperatura media giornaliera, basta prendere quella di alcune ore. In un giorno di gennaio pertanto la media delle 24 ore è risultata a Padova, secondo il fisico italiano, di 3°,71 centesimali; mentre la massima, alle 2 pomeridiane, è stata di 5°,60, e la minima, alle 7 antimeridiane, di 2°,15. La media di queste temperature estreme delle orarie è di 3°,87, la quale si approssima molto a quella desunta dalle 24 osservazioni. Al tempo di Chiminello non conoscevasi ancora nè termometrografo, nè altro strumento per ottenere la massima e la minima durante l'intero corso della giornata (§ 1662), e prima delle ore 7 può benissimo essere stata la vera minima al disotto di 2°,15, nel qual caso si avrebbe avuto un risultato medio identico con quello dedotto dalle 24 osservazioni orarie. La media per un giorno di luglio a Padova, secondo le 24 osservazioni orarie, era

al 1846; le osservazioni però si fecero collo stesso metodo e cogli stessi strumenti sotto la sua ispezione sino al 1832, anno della sua morte. Da quell'epoca continuarono all'azzardo, venendo fatte ora da un allievo, ora dal meccanico o dalle figlie di lui, ora da altro individuo, senza che l'attuale direttore della specola Carlini se ne prenda impaccio, avendo le sue cure rivolte altrove.

(1) *Osservazioni meteorologiche fatte in Udine pel quarantennio* ecc. Udine 1851.

(2) *Annali di fisica* ecc. t. XI, pag. 161 e t. XX, pag. 157.

(3) *Annali* suddetti, t. VI, 177, e t. III, 2ª serie, 324, e t. IV, 106 e 322.

(4) *Saggio di meteorologia*. Bologna 1850.

(5) I succitati *Annali*, 2ª serie, t. III, pag. 110.

di 20°,06. e quella dedotta dalle temperature estreme, 30°,73 e 21°,34, delle stesse orarie risulta di 26°,04. Parimenti la media delle 24 osservazioni orarie, fatte al forte di Leith vicino ad Edimborgo per suggerimento di Brewster, fu per un giorno di gennaio di 5°,00, e quella delle temperature estreme delle stesse orarie di 5°,15. Pel mese di luglio la media desunta da tutte le osservazioni orarie nello stesso luogo risulta di 15°,70, che si approssima a 15°,55 media delle temperature estreme delle orarie medesime. Dunque *per avere la temperatura media giornaliera basta di prendere quella delle due temperature, massima e minima, avvenute nello stesso giorno.*

In tal maniera la *media giornaliera* si ottiene soltanto con due temperature notate dallo stesso strumento, senza che l'osservatore s'incomodi per attenderle ad ore fisse. Importa in tal caso che, qualunque sia lo istrumento indicatore (§ 1662), si confronti ogni volta con un termometro campione per fare al bisogno le necessarie correzioni. Furono proposte a tale scopo quattro osservazioni al giorno di 6 in 6 ore *incominciando coll'ora che meglio aggrada*, la media delle quali darebbe quella giornaliera richiesta (1). Un tal metodo, cogliendo ad eguali intervalli l'incremento e il decremento di calore nel corso delle 24 ore, conduce a giusti risultamenti. Infatti le temperature del mezzodì, delle ore 6 pom., della mezzanotte e delle 6 del mattino delle osservazioni di Chiminello in un giorno di gennaio hanno per media 3°,73, che coincide quasi esattamente con 3°,71, media delle 24 osservazioni orarie. Parimenti quelle delle ore 3 pom., delle 9, delle 3 e delle 9 del mattino delle stesse osservazioni danno la media di 3°,69 quasi identica colla vera media 3°,71. Si richieggono però quattro osservazioni invece di due, e si ha di più il gravissimo incomodo di dover vegliare la notte; per cui un tal metodo, a malgrado della sua giustezza, non sarà così facilmente adottato, tanto più che si perviene allo stesso risultamento colle due temperature estreme ottenute in assenza dell'osservatore.

Pouillet nella sua meteorologia, oltre il metodo delle temperature estreme ora adottato anche alla specola di Parigi per calcolare la media giornaliera, propone l'altro per valutarla dalle temperature del levare e del tramontare del sole e da quella alle 2 pomeridiane. Questo metodo, non solo richiede tre osservazioni invece di due che si ottengono senza incomodo, ma non sempre conduce a risultamenti esatti. Imperocchè può in quest'ultima ora cadere la massima tem-

(1) *Annali di fisica* ecc. per volte citati, t. XXI, pag. 181

peratura della giornata e quella del tramonto differire dalla media richiesta, mentre l'altra del levare del sole rappresenti la minima. Si suole in alcune specole calcolare la media giornaliera su quattro differenti osservazioni questo metodo richiede maggior fatica, e conduce spesso all'errore Abbiamo sott'occhio infatti i quadri delle osservazioni della specola di Bologna nel 1851, e troviamo, p. e., che la media del giorno 30 giugno dedotta dalle temperature avute alle ore 8 del mattino, al mezzodì, alle 4 ed alle 8 della sera risulta di 20°,0 ottagesimali, mentre la media delle due estreme è di 18°,1. La differenza di quasi 2° ottagesimali, equivalenti a 2°,5 cent., è rilevante. Dobbiamo dire però che tale differenza riesce minore nei mesi d'inverno, perchè in questo caso le temperature delle 8 del mattino e della sera si accostano alla minima; mentre la media di quelle a mezzodì ed alle 4 pom. s'approssima alla massima.

Nell' interesse della meteorologia comparata dunque *sono da raccomandarsi alle specole la massima e la minima temperatura* per cogliere la media giornaliera, dalla quale dipendono tutte le altre medie. Importa è vero, per alcune viste, di tener conto di qualche temperatura ad ora fissa; ma pel confronto dei climi delle diverse regioni sono indispensabili le estreme. Le medie temperature giornaliere del quarantennio delle osservazioni di Venerio hanno il pregio di essere tutte dedotte dalla massima e minima d'ogni singolo giorno. Pictet, nell'occasione di dover traslocare i suoi strumenti meteorologici, discute sulle ore delle osservazioni. Tutti i fisici, egli dice, stabiliscono l'ora del levare del sole, ma diversificano in quanto all'altra osservazione, cioè se si debba fare a mezzodì o verso le 2 pom. in cui il calore ordinariamente tocca il massimo. Egli si decide per le 2, non essendo allora in uso degli strumenti comodi e sicuri per avere le temperature estreme. D'altronde osservava altresì che nelle principali specole le osservazioni sono istituite fra le 2 o le 3. pom. come è di Milano alle 2, di Napoli 2 $^1/_2$, di Torino e Parigi alle 3. Per le osservazioni di meteorologia comparata sarebbe bene che le specole fossero provvedute del collettore di Bellani previamente confrontato collo stesso campione, onde avere la quantità giornaliera di calorico espresso in millimetri di liquido evaporato (§ 1139).

1666. Le temperature medie giornaliere sono della maggiore importanza, fondandosi su di esse la *media mensuale*, la quale eguaglia la somma delle medie giornaliere divisa pel numero dei giorni del mese In parecchie specole si suole mostrare il corso del calore dei mesi per ogni decade prendendo la media di quelle dei giorni com-

ponenti ciascuna serie. Alla specola di Bologna, p. e. per due mesi del 1831 si hanno i risultati medii seguenti, ridotti i gradi ottagesimali in centesimali; nei quali dovrebbero sempre esprimersi le temperature, per essere il termometro centesimale usato dalla maggior parte dei fisici nella meteorologia comparata.

1ª decade	gennaio	+4,21	luglio	+22,92
2ª decade		4,36		24,73
3ª decade più 1		4,81		25,35
Media del mese . . .		4°,46		24°,33

Da ciò si scorge che la temperatura nei due mesi è stata *crescente* dal principio alla fine; ma l'accrescimento riuscì meno rapido in gennaio che in luglio, risultando dalla 1ª alla 2ª decade per gennaio di 0°,15 e per luglio di 1°,81, e dalla 2ª alla 3ª per gennaio 0°,46 e per luglio 0°,62. Si scorge altresì che nel gennaio l'accrescimento di calore dalla 1ª alla 2ª decade è stato minore di quello dalla 2ª alla 3ª, mentre in luglio avvenne il contrario. Si sa infatti che generalmente per l'Italia la temperatura nel corso dell'anno, mentre è massima in luglio, tende da questo mese a diminuire; come pure mentre in gennaio succede la minima incomincia nello stesso mese a crescere. Non bisogna però confondere le temperature, minima e massima, assolute d'una data ora del giorno, colle medie di parecchi giorni: le prime possono accadere in dicembre ed in agosto, ma le seconde avvengono d'ordinario per il nostro clima in gennaio ed in luglio. Dalle diligenti osservazioni di Venerio pel periodo di 40 anni, si apprende che la *media temperatura mensuale si ottiene con abbastanza approssimazione dalle medie del primo ed ultimo giorno del mese stesso*, cioè che eguaglia la semi-somma di questi due giorni.

La *media annuale* eguaglia il quoziente della somma di tutte le medie dei mesi divisa per 12. La minima temperatura dell'anno non cade nel solstizio d'inverno, in cui è minima la quantità di calorico che la terra riceve dal sole, come pure la massima temperatura non cade nel solstizio d'estate, in cui è massima la quantità di calorico che la terra assorbe da quell'astro; e ciò per la stessa ragione che alla mezzanotte non avviene la minima ed al mezzodì la massima temperatura della giornata (§ 1063). Le medie di diversi anni conducono alla *temperatura media d'un luogo*, la quale eguaglia la media delle annuali e si approssima tanto più al vero quanto più è lungo il periodo delle osservazioni. Humboldt, mettendo a confronto le tem-

peratpre medie annuali di molti luoghi della terra situati a differentissime latitudini, ha veduto che la media del mese di ottobre per ciascun luogo corrisponde con molta approssimazione all'annuale. Questa corrispondenza può riuscire utile per determinare in alcuni casi la temperatura media di luoghi dove si presentassero ostacoli alle osservazioni in tutto il corso dell'anno. Si noti altresì che fra la temperatura minima e la massima d'un giorno deve cadere la media del giorno stesso. Alcuni consigliano per ciò di fare quest'osservazione e di ritenerne la temperatura come la media dell'intera giornata. Procedendo in tal maniera si corre rischio di ottenere dei valori erronei, avvenendo non di rado che nell'ora stabilita soffi qualche vento o nasca altra causa che alteri la temperatura. D'altronde quest'ora varia pei diversi luoghi, e quando si volesse seguire questo metodo bisogna fare l'osservazione alla mezza mattina, e quindi cambiare l'ora almeno ogni mese, come risulta dalle osservazioni di Venerio.

1667. La media temperatura d'un luogo si ottiene eziandio con poche osservazioni fatte per alcuni anni negli ultimi giorni di dicembre e nei primi di gennaio, e con altre consimili istituite negli ultimi giorni di luglio e nei primi d'agosto. Colle prime si ha, mediante il termometrografo od altro strumento indicatore (§. 1662), la minima e colle seconde la massima temperatura di ciascun anno. La media delle massime e minime assolute, ritrovate in tal maniera, eguaglia approssimativamente la media temperatura del luogo. Valga a dimostrare questo metodo il quadriennio delle osservazioni, che io ho istituito in Mantova. Nel seguente prospetto sono notate le medie temperature di ciascun anno, ottenute dalle mensuali, e le assolute annuali, massima e minima, avute col termometrografo, traducendo i gradi ottagesimali in centesimali.

Anni	*Medie annuali*	*Minime*	*Massime*	*Med. mass. e min.*
1827	13°,54	—8°,75	35°,75	12°,50
1828	14,59	— 5,88	35,38	14,75
1829	12,84	—10,50	36,38	12,94
1830	12,65	—13,25	36,38	11,56
Medie generali	13°,40	—9°,60	35°,47	12°,94

Dove si scorge che la media 12°,94, delle massime e minime assolute di tutti gli anni, differisce meno di mezzo grado dalla media 13°,40 desunta dalle medie mensuali ed annuali. Questo metodo è confermato

dalle osservazioni di 12 anni 1832-1843, fatte a Bruxelle da Quetelet e pubblicate nel t. XVIII delle memorie di quell'Accademia. Le osservazioni sinora istituite provano che la temperatura media d'un luogo è costante quantunque nel corso di diversi anni abbia delle lievi oscillazioni in più o in meno. Libri poi, confrontando le osservazioni termometriche di 16 anni fatte nel secolo XVII sotto la direzione dell'Accademia del Cimento, ha trovato che si accordano colle odierne, che per conseguenza il calore della nostra Italia non ha cambiato nel corso di due secoli (§. 986) e che niuno influsso atmosferico non le si oppone a riacquistare il grado altre volte occupato fra le nazioni.

Nello stesso modo che si è dimostrato il progresso e il regresso del calore, durante il corso dell'intero giorno (§. 1063), esaminiamo l'andamento dell'anno, servendoci a tal fine del decennio d'osservazioni istituite da Pianigiani a Siena, città situata nel centro della Penisola e distante dai maggiori monti d'Europa, quali sono le Alpi.

Dal gennaio al febbraio	*aumento medio*	0°,78
Dal febbraio al marzo	»	2,48
Dal marzo all'aprile	»	4,23
Dall'aprile al maggio	»	4,29
Dal maggio al giugno	»	5,11
Dal giugno al luglio	»	2,05
Dal luglio all'agosto	*diminuzione media*	0,73
Dall'agosto al settembre . . .	»	3,54
Dal settembre all'ottobre . . .	»	4,20
Dall'ottobre al novembre . . .	»	5,16
Dal novembre al dicembre . .	»	3,74
Dal dicembre al gennaio : . .	»	1,48

Si scorge da questo quadro, ridotto in gradi centesimali, che il gennaio è il mese più freddo ed il luglio il più caldo; inoltre che dal primo la temperatura incomincia a crescere e dal secondo a diminuire. La maggior variazione, durante l'accrescimento, succede dal maggio al giugno e durante il decremento dall'ottobre al novembre, per cui *la rapidità delle due variazioni del calore della terra riesce maggiore nella diminuzione che nell'aumento.* Le temperature medie giornaliere, pel periodo di 40 anni delle osservazioni di Venerio in Udine, conducono alla medesima conseguenza della *maggior rapidità che impiega la terra nel raffreddarsi dal luglio al gennaio, che nell'essere riscaldata dal gennaio al luglio.* Esse mostrano infatti che il minor calore cade soltanto 22 giorni dopo il solstizio d'inverno, mentre il

maggior segue 43 giorni dopo il solstizio d'estate. Da alcune osservazioni fatte a Bosecope alla latitudine settentrionale di 70° risulta che, durante l'intervallo di 40 giorni in cui il sole aveva cessato di comparire sull'orizzonte, la variazione di temperatura nelle 24 ore della giornata non giunse a mezzo grado. Il che prova essere il sole la causa principale per non dire unica del calore terrestre (§ 1661).

Il ripartimento dunque dei mesi per le quattro stagioni non riesce eguale nella meteorologia e nell'astronomia. In questa i mesi medii sono quelli dei solstizi per l'inverno e l'estate, e quelli degli equinozi per la primavera e l'autunno. Nella meteorologia, invece, gennaio, come il più freddo, è il mese medio del trimestre componente l'inverno, e il luglio del trimestre dell'estate, formando in ordine gli altri 6 i due trimestri della primavera e dell'autunno, come nel seguente quadro:

Inverno	Primavera
Dicembre, gennaio, febbraio.	*Marzo, aprile, maggio.*
Estate	**Autunno**
Giugno, luglio, agosto.	*Settembre, ottobre, novembre.*

La *media temperatura jemale* è dunque la media dei tre mesi d'inverno; la *media temperatura primaverile* eguaglia quella del trimestre corrispondente; la *media temperatura estiva* è espressa dall'altro trimestre, e infine la *media temperatura autunnale* da quella dell'ultimo trimestre.

1668. Stabilite le norme per istituire le osservazioni termometriche, per ottenere le temperature giornaliere, mensuali ed annuali e la media d'un luogo, ed infine per riconoscere l'andamento del calore nel giorno, nel mese e nell'anno, mettiamo dapprima a confronto la temperatura di parecchi luoghi d'Italia, che costituisce uno dei primi elementi di meteorologia comparata per la nostra penisola. L'illustre fisico danese Schouw, nell'opera *Tableau du climat d'Italie*, Copenaghen 1839, in 4°, ha pubblicato le temperature ed altri elementi del clima d'Italia. Noi dobbiamo essergli grato per quest'opera, senza però omettere di confessare che non ci riescirono ben chiare le fonti, dove egli attinse le notizie meteorologiche di parecchi luoghi. Schouw, p. e., dà per Mantova la temperatura media di 13°,4, che è identica con quella da me ottenuta nel quadriennio su citato dal 1827 al 1830, i cui registri esistono nel gabinetto di fisica di quel

R. Liceo, e contengono i risultati conseguiti col termometro, col barometro e con qualche altro strumento meteorologico. Le osservazioni si continuarono dal mio amico prof. Bendiscioli, succedutomi alla cattedra di fisica in quel Liceo, senza però che da me e da lui, sino all'epoca della comparsa dell'opera di Schouw, siasi potuto disporre l'udometro per ottenere la quantità di pioggia ecc. caduta in Mantova nei diversi giorni e nell'anno. Tuttavolta si vede nei quadri meteorologici del fisico danese notata la media quantità di pioggia di cent. 77,38, che cade in un anno in quella città. Da questo e da qualche altro fatto, che potrei addurre, si giudichi della fiducia che possano inspirare alcune cifre dei quadri climatologici di Schouw, per luoghi dove non esiste nè specola meteorologica, nè s'istituiscono osservazioni regolari. Allo scopo di raccogliere tutti i materiali per la sua opera, bisogna che, per mezzo del governo, egli siasi rivolto agli agenti danesi in Italia, e che questi abbiano ricevuto delle notizie improvisate o desunte da dati incerti e privi di qualunque fondamento. Nel quadro, che riportiamo dello stato termometrico d'Italia, abbiamo perciò indicato per parecchi luoghi la fonte dove si attinsero le cifre, lasciando, in riguardo al resto, tutta la risponsabilità al sig. Schouw.

A canto di ciascun luogo notiamo la latitudine, come causa principale dello stato termometrico; inoltre l'altezza sul livello del mare, che contribuisce a farlo variare. Alla media temperatura annuale, in gradi centesimali, si sono aggiunte le temperature assolute, massima e minima, avvenute durante il periodo delle osservazioni per quei luoghi, dove furono osservate. Le altezze sul livello del mare si riferiscono al termometro dove havvi una specola meteorologica, altrimenti a quella dei luoghi medesimi, e i risultati si sono disposti in ordine alla latitudine, per così scorgere tosto se con questa vada d'accordo lo stato termometrico, oppure se esso varii per l'altezza o per altra delle cagioni rammentate (§. 1661).

STATO *termometrico dell'Italia.*

LUOGHI	LATITUDINE	ALTEZZA	TEMPER. media	TEMPER. massima	TEMPER. minima	*Schiarimenti*
San Gottardo	46°. 32'. 1''. *N.*	2110m.	—0°,90	19°,40	—30°,20	
Tolmezzo	46. 28. 0. »	305.	10,20	—	—	
Trento	46. 4. 50. »	250.	12,10	—	—	
Udine	46. 3. 56. »	119.	12,75	36,41	— 12,22	*Venerio.* Specola, per 40 anni 1803-1843.
Gorizia	45. 56. 42. »	86.	13,10	—	—	
S. Bernardo (*ospiz.*)	45. 50. 16. »	2491.	—1,00	19,70	—30,00	
Trieste	45. 38. 37. »	87.	13,00	33,10	—9,00	
Vicenza	45. 32. 46. »	50.	12,90	—	—	
Brescia	45. 32. 19. »	153.	13,40	33,80	—11,20	La minima dev'essere più bassa.
Ivrea	45. 30. 0. »	265.	12,10	—	—	
Milano	45. 28. 0. »	131.	12,81	34,40	—16,22	*Cesaris.* Specola, per 54 anni 1763-1816.
Verona	45. 26. 8. »	65.	15,00	35,60	—15,00	*Bevilacqua Lazise.* Statistica.
Venezia	45. 25. 47. »	6.	15,09	33,40	—7,20	*Quadri.* Statistica per 4 anni 1811-1814.
Padova	45. 23. 41. »	21.	13,75	36,30	—15,60	*Chiminello.* Sp. Quadri dà 13,31 pel 1821.
Monte-Cenisio (*osp.*)	45. 14. 0. »	1930.	5,40	—	—	
Pavia	45. 11. 1. »	71.	12,80	37,50	—15,30	*Gazzaniga.* Spec., per 9 anni 1808-1816.
Mantova	45. 9. 4. »	37	13,40	36,38	—13,25	*Maiocchi* Specola per 4 anni 1827-1830.
Torino	45. 4. 6. »	278.	11,70	36,90	—17,80	*Vassalli.* Specola, per 61 anni 1757-1817.
Alba	44. 50 0. »	—	12,90	—	—	
Parma	44. 48. 13. »	110.	13,50	35,90	—9,40	*Colla.* Specola, le estreme pel solo 1839.

Segue lo Stato *termometrico dell'Italia:*

LUOGHI	LATITUDINE	ALTEZZA	TEMPER. media	TEMPER. massima	TEMPER. minima	*Schiarimenti*
Bologna	44°. 29'. 30''. *N.*	90m.	14°,95	37°,10	—16°,90	*Palagi*. Specola, per 10 anni 1813-1822.
Genova	44. 24. 59. »	49.	15,45	32,30	—3,10	*Garibaldi*. Spec., per 10 anni 1833-1842.
Camaiore.	43. 55. 0. »	—	14,20	37,00	—7,30	
Lucca *(bagni)* . . .	43. 54. 0. »	175.	11,60	—	—5,70	
Lucca *(città)*	43. 50. 37. »	—	14,90	38,10	—8,90	
Firenze	43. 46. 41. »	67.	15,20	35,20	—5,20	*Inghirami*. Spec., per 20 anni 1821-1840.
Pisa	43. 43. 28. »	21.	14,80	39,40	—5,60	
Nizza.	43. 41. 58. »	10.	15,60	33,40	—9,60	
Livorno	43. 33. 20. »	—	16,70	—	—	
Siena.	43. 18. 6. »	348.	13,90	37,38	—7,13	*Pianigiani*. Spec., per 10 anni 1839-1848.
Roma	41. 53. 54. »	51.	15,50	38,00	—3,90	
Napoli	40. 51. 47. »	155.	15,70	39,00	—5,20	*Capocci*. Specola, per 23 anni 1821-1844, escluso 1832 incompiuto.
Lecce.	40. 21. 4. »	45.	17,00	—	—	
Cagliari.	39. 13. 14. »	100.	16,90	39,40	—	
Messina.	38. 11. 3. »	8.	18,30	—	—	
Palermo	38. 6. 26. »	74.	17,18	39,70	0,00	*Cacciatore*. Spec., per 51 anni 1789-1842.
Casino sull'Etna . .	37. 44. 0. »	2945.	—1,30	—	—	
Nicolosi presso l'Etna	—	706.	18,00	38,90	—2,20	
Catania.	37. 28. 20. »	—	19,70	38,30	+5,00	

La media di Pavia sarebbe, secondo Gazzaniga, di 8°,2 ottagesimali equivalenti a 10°,25 centesim. (*Giornale di fisica e chimica*, ecc. di L. Brugnatelli, Pavia 1817, t. x, pag. 2). Essa però è certamente troppo bassa e qualche errore di stampa sembra incorso, per cui abbiamo adottata quella di 12°,8 data da Schouw. Le osservazioni di Traversi, istituite al R. Liceo di Venezia dal 1823-1829, darebbero la media 13°,07, che non differisce guari da quella della Statistica di Quadri. Capelli ha calcolato nelle tavole statistiche del dottore Ferrari le medie mensuali termometriche per Milano dal 1763 al 1840. Ha inoltre ridotto in gradi ottagesimali le temperature dal 1720 al 1726 avute da Beccari alla specola di Bologna, e quelle dal 1725 al 1763 ottenute da Poleni alla specola di Padova. Sì l'uno che l'altro adoprarono termometri di particolare costruzione, per cui bisognava ridurle a vantaggio della meteorologia comparata. Si è però creduto di preferire i risultati di Chiminello per Padova e di Palagi per Bologna, avendosi del resto per Milano nel periodo di 78 anni la stessa media del periodo di 54.

I luoghi del precedente quadro sono abbastanza numerosi e variati per dimostrare lo stato termometrico dell'intera Italia. Da esso si scorge che la temperatura aumenta in generale col diminuire la latitudine. Le irregolarità più saglienti dipendono dall'elevazione o dalla prossimità del mare e dei monti, o da qualche altra delle circostanze altrove annoverate (§. 1661). Le minori irregolarità sono inerenti alle osservazioni, per le quali non si segue un piano uniforme, nè si è adottato lo stesso metodo per valutare le temperature medie (§.1666). D'altronde, se si eccettui Udine, Mantova, Genova, Siena e forse pochi altri luoghi, in tutti i rimanenti le temperature non si ottennero collo strumento indicatore (§. 1662), per avere le massime e minime assolute. Si osserva generalmente il termometro ad ore stabilite, che sono alle 8 ed anche alle 9 del mattino per le minime ed alle 2 della sera per le massime. Le prime per ciò sono superiori e le seconde in alcune stagioni inferiori alle vere temperature assolute estreme. Importa assaissimo per la meteorologia comparata che le medie siano calcolate secondo il metodo dimostrato (§. 1665) e che a vantaggio della scienza sia ovunque seguito un piano uniforme nelle osservazioni, come aveva proposto Antinori (1).

1669. Desta particolare interesse il confronto delle diverse regioni terrestri in riguardo alle stagioni: giacchè esse fissano l'epoca della

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XIII, pag. 291 a 294.

fioritura delle piante, dello sviluppo e dell'incremento dei vegetali, della maturazione dei frutti e dei cereali, determinano altresì l'emigrazione degli animali, hanno grande influenza sulla loro vita e particolarmente sul benessere degli uomini, e stabiliscono in generale la distribuzione degli esseri organizzati sulla terra. Siamo ancora ben lungi di possedere dei dati sicuri per simili confronti: in parecchi luoghi non si usano stromenti ben costrutti, nè si è adottato lo stesso piano nelle osservazioni, per cui i risultati non riescono assolutamente comparabili. Humboldt nella memoria — *Ricerche sulle catene di monti e sulla climatologia comparata* — presenta il quadro d'un gran numero di luoghi d'ogni regione della terra, le cui temperature medie dell'anno e delle stagioni furono calcolate da Mahlmann. Esaminando ponderatamente questo faticoso lavoro, ne emerge che le temperature di non pochi luoghi non sono esatte e non servono che a mostrare nella maniera più generale la distribuzione del calore nelle diverse parti del globo. Stimiamo meglio per gl'Italiani di mettere a confronto due città, dove le osservazioni s'istituirono con perfetti stromenti e per conseguenza le temperature medie si deducono col metodo delle estreme (§. 1665). D'altronde le due città, Udine e Genova, riescono di grande interesse per la loro posizione geografica relativa, essendo la prima situata al di qua degli Appennini in prossimità dell'Adriatico, e la seconda al di là di quei monti sulla costa del Mediterraneo. Nel prospetto seguente si danno per Udine le medie delle temperature estreme, la loro differenza e la media generale per le quattro stagioni dell'anno espresse in gradi centesimali e ricavate da un quarantennio d'osservazioni, e per Genova i medesimi risultati desunti da un decennio.

	UDINE			
Stagioni	massimo	minimo	differenze	medie
Inverno	13°,44	—7,°76	21°,20	2°,84
Primavera	28,18	—2,42	30,60	12,88
Estate	33,20	10,49	22,71	21,85
Autunno	27,58	1,84	20,42	12,87

Stagioni	GENOVA massime	minime	differenze	medie
Inverno	16°,96	—1°,23	18°,19	7°,87
Primavera	26,48	2,35	24,13	14,42
Estate	31,67	14,71	16,96	23,19
Autunno	28,06	4,03	24,03	16,05

L'influenza sul clima, esercitata dalla latitudine, dall'altezza e dalla vicinanza del mare, si riconosce nel confronto delle temperature delle due città. Nell'inverno si ha a Udine un calore minore di più di 5° che a Genova, e nell'estate soltanto di 1°,4. I cambiamenti di temperatura in queste due stagioni sono meno risentiti che in primavera ed autunno, ma riescono molto più grandi nella prima che nella seconda città. In Udine inoltre la media primaverile eguaglia l'autunnale, e in Genova riesce quasi di 2° più fredda la primavera dell'autunno, su di che contribuisce moltissimo la vicinanza del mare (§ 1661).

Nel decennio delle osservazioni istituite a Siena, Pianigiani ha calcolato le medie temperature col metodo fallace delle ore fisse (§ 1665), quantunque notasse mediante il termometrografo le massime e minime assolute. Le minime dalle ore 9 mattina riescono sempre troppo elevate e molto più nell'estate che nell'inverno; le massime alle 3 di sera differiscono più o meno da quelle assolute. È per questo che le medie temperature delle stagioni date da Pianigiani per Siena e ridotte in gradi centesimali non sono assolutamente comparabili colle precedenti di Udine e Genova.

Stagioni	SIENA massime	minime	differenze	medie
Inverno	8°,99	2°,96	6°,03	5°,98
Primavera	20,98	12,36	8,62	16,67
Estate	26,54	17,26	9,28	21,90
Autunno	12,94	7,53	5,41	10,23

Se confrontiamo questi risultati fra loro, ne verrebbe che le oscillazioni di temperatura poco differiscono nelle quattro stagioni, e nell'estate la differenza riescirebbe maggiore, quando sappiamo che le

maggiori oscillazioni accadono nella primavera e nell'autunno, come deve succedere anche a Siena, le cui massime e minime assolute non molto si discostano da quelle di Udine (§. 1668). Anomalie maggiori si riscontrano confrontando le cifre di Siena con quelle delle due precedenti città. È appunto per ciò che *nella meteorologia comparata*, lo ripetiamo, *è assolutamente necessario di valutare le temperature medie giornaliere collo stesso metodo per ciascun luogo*, vale a dire con quello delle temperature estreme (§. 1665). Per questa e per altre ragioni (§. 1668) riputiamo inesatte parecchie delle cifre date da Schouw e da Humboldt nei loro quadri termometrici. Del resto per l'agricoltura e per la botanica interessa di conoscere eziandio la quantità relativa di calorico per ogni stagione, per ogni mese e clima, la quale, come si disse (§. 1665), si ottiene col collettore di Bellani.

1670. Gl'inverni in Europa non hanno da secoli cambiato della loro rigidezza, come ha dimostrato Arago in una memoria all'appoggio del gelamento dei fiumi, dei laghi, dei mari ed altri effetti prodotti dal freddo in un gran numero d'epoche assai differenti (1), in cui non si conosceva ancora il termometro. La temperatura media all'equatore è di 27°,5 cent., e la massima osservata da Humboldt di 38°,4. Il massimo caldo di 45° è accaduto ad Autongi nell'isola del Madagascar a 14°. 27' latitudine sud, e dal quadro presentato da Arago si deduce che *in verun luogo della terra e in veruna stagione* il termometro, elevato 2 in 3 metri sopra il suolo e difeso dai raggi riflessi, non giunge mai ai 46°. In alto mare poi, qualunque sia il luogo e la stagione, la temperatura dell'aria non tocca mai i 31° e l'acqua i 30°. Il più gran freddo osservato sul globo, con un termometro sospeso nell'aria, è stato di 50° al disotto dello zero. Osservazioni recenti fatte per 6 anni a Niné-Taguilsch, sui confini dell'Europa coll'Asia nel versante orientale dei monti Urali, danno la minima temperatura di 46°,3 cent. sotto lo zero (2).

Lo stato termometrico subisce bensì qualche variazione in virtù d'alcune circostanze (§. 1661); esso però è sempre sotto il predominio della latitudine, colla cui diminuzione cresce la temperatura media. Questa legge si scorge già, come si è notato, dallo stato ter-

(1) *Annales de chimie et de physique*, seconde serie, t. XXVII, pag. 407, e *Bulletin* di Ferrusac, t. III, pag. 250. Forster ha pure pubblicato alcune indagini sugli inverni rigidi, di cui negli *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. II, p. 447.

(2) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, seconda serie, t. II, pag. 30.

mometrico della sola Italia (§. 1668), ma si presenta in una più grande estensione nel seguente quadro estratto dalla Memoria di Humboldt (1)

Luoghi	Latitudine	Temp. med.	Luoghi	Latitudine	Temp. med.
Spitzberg . .	80°. 0'. n.	—23°,0	Napoli	40°. 52. n.	15°,7
Isola Melville	74. 47. »	—18,0	Palermo . . .	38. 6. »	17,2
Capo Nord . .	71. 10. »	0,1	Algeri	36. 47. »	17,8
Umeo	63. 50. »	2,1	Paramatta . .	33. 50. »	18,1
Pietroborgo .	59. 56. »	3,5	Santa Croce (Teneriffa) .	28. 28. »	21,0
Stoccolma . . .	59. 21. »	5,0	Macao	22. 11. »	22,5
Chenisberga .	54. 43. »	6,2	S. Luigi (Senegal)	16. 1. »	24,6
Londra	51. 31. »	10,4	Cumana . . .	10. 28. »	27,4
Parigi	48. 50. »	10,8	Equatore . . .	0. 0. »	27,5
Torino	45. 4. »	11,7			
Firenze	43. 47. »	15,2			
Roma	41. 54. »	15,5			

Se la temperatura media di un luogo non fosse soggetta all'influenza dell'altezza sul mare e ad altre circostanze (§. 1661), si troverebbe essa per ciascun punto della terra colla formola $t = 27,5 . \cos . a$, dove t è la temperatura media appartenente al luogo posto alla latitudine a, sapendosi che 27,5 è quella all'equatore.

1671. L'altezza sul livello del mare è una delle cause che maggiormente influiscono sulla temperatura dei luoghi. Si è veduto infatti che, alle altezze del S. Gottardo, del S. Bernardo, del Monte Cenisio e dell'Etna, la temperatura media annuale è molto inferiore a quella di luoghi posti pressochè all'eguale ed anche a maggiore latitudine (§. 1668). Questa diminuzione di temperatura dipende dalla rarefazione dell'aria nell'innalzarsi (§. 602), che assorbe calorico (§. 1140) e diventa causa di raffreddamento dei luoghi circostanti. Nelle alte regioni inoltre l'atmosfera è più pura e l'irradiazione riesce più facile e più abbondante (§. 1132), e quindi succede maggior raffreddamento nel corpo irradiante.

(1) La sola temperatura estiva dello Spitzberg data da Humboldt è di +5°,4. Martins, che vi ha soggiornato nei mesi di luglio ed agosto, dice che *la temperatura, quantunque prossima al punto di congelazione, è sempre superiore a zero* (*Annali* succitati, seconda serie, t. III, 28). Supponendo al più la massima dell'anno di 4° e la minima di —50°, si è dedotta la media annuale col metodo dichiarato (§. 1667).

Si è cercato d'indagare la legge del decremento di temperatura coll'aumento dell'altezza; ma alcune cause ne disturbano il regolare andamento, fra le quali le correnti orizzontali d'aria ed i venti, come pure i vapori che nel condensarsi in pioggia emettono calorico (§.1153) o l'assorbono nel dilatarsi o nel rimanere allo stato di nubi. Le osservazioni istituite da Saussure al colle del Gigante a 3428m sul mare, mentre si osservava simultaneamente a Ginevra (407m) ed a Chamounix (1044m), hanno dimostrato l'influenza delle diverse ore del giorno sulla diminuzione di temperatura coll'accrescimento dell'altezza. Altre osservazioni consimili furono istituite da Kaemtz sul monte Rigi (1810m), mentre si osservava a Berna (548m), a Ginevra ed a Zurigo (459m). L'altezza cui bisogna elevarsi per avere l'abbassamento d' 1° del termometro centesim., è minima verso l'ora del mezzodì e cresce sino a circa 4 ore dopo mezzanotte, dopo cui incomincia a diminuire. In termine medio si è trovato che si ha la diminuzione di 1° centesim. per ogni 164m,60 d'altezza sul colle del Gigante e per ogni 149m,10 sul monte Rigi. Dalle osservazioni fatte sul monte Faulhorn (2673m) in relazione colle osservazioni termometriche istituite a Milano, Ginevra e Zurigo, Bravais deduce la diminuzione di 1° ogni 170 metri. Le osservazioni di parecchi fisici darebbero altresì che l'elevazione nell'atmosfera per la diminuzione di 1° grado di calore è molto maggiore nella stagione fredda che nella calda. Varia inoltre secondo lo stato termometrico dei diversi paesi. Nell'alta Italia l'elevazione, per l'abbassamento di 1° grado del termometro, sarebbe, secondo Kaemtz, di 172m,08, ed a Ginevra è sul monte S. Bernardo di 202m,12. Forbes ha istituito un gran numero d'osservazioni continuate per alcuni anni, ed ha verificato pure la grande influenza delle stagioni e delle temperature dei luoghi sul decrescimento termometrico coll'elevazione nell'atmosfera (1). Dalle osservazioni fatte in America, Humboldt ha stabilito che nella zona equinoziale da 0m a 4900m si possa ritenere la diminuzione di 1° per ogni 187m d'altezza, e nelle zone temperate da 0m a 2900m pure di 1° per ogni 174m.

Mentre in vicinanza all'equatore il decrescimento di temperatura coll'altezza si conserva pressochè costante in ogni stagione, nelle regioni polari invece s'incontrano le più grandi differenze fra l'estate e l'inverno. Bravais infatti ha calcolato i risultati delle osservazioni istituite dalla Commissione del Nord nel 1838, ed ha trovato che allo

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. II, pag. 100.

Spitzberg nell'estate succede il decrescimento di 1° ogni 172m, numero che coincide con quello delle zone temperate. Nell'inverno al contrario la temperatura cresce coll'altezza sino ad un certo limite, variabile secondo le circostanze atmosferiche. La media di 30 sperienze, fatte a Bosecopa con palloni e cervi volanti, ha dato l'accrescimento di 1°,6 di calore pei primi 100m. Al di là di questo limite la temperatura diventa decrescente, dapprima lentamente e poscia rapidamente. L'irradiazione del calorico proprio del suolo durante parecchie settimane senza riceverne dal sole per compensarne le perdite, e l'influenza delle contro-correnti calde provenienti superiormente dall'ovest e dal sud-ovest, spiegano l'anomalia riscontrata nelle regioni boreali del continente europeo.

I viaggi areostatici sembrava che offrissero il mezzo più proprio per *istabilire la legge del decrescimento di temperatura coll'altezza*, essendo gli strumenti meno soggetti all'irradiazione di corpi estranei. A malgrado del grandissimo numero di voli aerei intrapresi in ogni parte del mondo, non si ha che uno scarsissimo numero d'osservazioni sul fenomeno. Gay-Lussac nella sua ascensione areostatica deduce che da 0m a 3800m vi ha il decrescimento di 1° per ogni 188m,5 d'altezza, da 3800m a 5700m di 1° per ogni 185m,8, e da 5700m a 6900m di 1° per ogni 161m,2. Nell'ascensione eseguita nel 1842 sotto la direzione di Peltier, l'areonauta ha osservato, alla distanza di 671m dal suolo, la diminuzione di 6°, il che darebbe 1° per ogni 112m. Si riscontrò inoltre il fenomeno osservato dai fisici nell'inverno alla zona boreale, cioè da 671m all'altezza di 883m il termometro si sarebbe rialzato di 1° e d'altro grado a quella di 1051m (1). Peltier ne attribuisce la cagione al ricondensamento dei vapori riscontrati dall'areonauta. Nell'ascensione aerea di Zeune e Jungius e in quella di Graham e Beaufoy si è trovata quasi la stessa altezza di Gay-Lussac per la diminuzione di 1°. Da tali risultati differirebbero molto quelli ottenuti dagli areonauti Lunardi (§. 657), Sacharoff e Clayton. Questi dati sono troppo pochi e fra loro discordanti per istabilire la legge del decrescimento della temperatura nell'alto dell'atmosfera. Leslie, dietro le sue osservazioni, ha creduto di rappresentarla colla semplicissima formola: $d=25\left(\frac{A}{a}-\frac{a}{A}\right)$, dove A, a esprimono le altezze del barometro alle due stazioni, inferiore e superiore, e d il decrescimento in gradi centesimali della temperatura dalla prima alla seconda stazione.

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. VII, pag. 42.

1672. La latitudine e l'altezza sul livello del mare sono dunque le due cause generali, per cui si determina la temperatura media d'un punto del globo, la quale è modificata da parecchie cause secondarie (§. 1661) Da tutto ciò si comprende che la posizione geografica, più o meno favorevole a ricevere i raggi solari, non basta per distribuire ed ordinare i diversi luoghi della terra in riguardo al calore. Riunendo tutti i paesi d'eguale temperatura media annuale, si sono per ciò formate le *linee isotermiche* o d'egual calore, le quali sono ben lungi dal corrispondere coi paralleli geografici, riescendo linee più o meno flessuose, che tendono tanto più al parallelismo quanto più si accostano all'equatore. Lo spazio poi compreso fra due linee isotermiche costituisce la *zona* o *banda isotermica*. Nella meteorologia si distinguono le sette zone isotermiche seguenti:

1°	La zona	da 30°	a 23°,5	di calore
2°	»	da 23,5	a 20	»
3°	»	da 20	a 15	»
4°	»	da 15	a 10	»
5°	»	da 10	a 5	»
6°	»	da 5	a 0	»
7°	»	da 0	ai gradi inferiori.	

Le città e le borgate dell'Italia (§. 1668) sarebbero divise sulla 3ª e la 4ª zona; alcune di esse però si accosterebbero più o meno alle zone contigue: Tolmezzo, per es., la cui temperatura media è di 10°,2, cade quasi nella quinta zona, mentre Catania, dove la temperatura media è di 19°,7, entra quasi nella seconda. I monti, di cui si è data la temperatura media nello stato termometrico d'Italia, avrebbero il calore per essere compresi nella settima zona o in quella delle regioni polari. Berlino cadrebbe nella quinta, Pietroborgo e Mosca nella sesta, mentre Londra e Parigi avrebbero un calore medio appena sufficiente per essere comprese nella quarta zona (§. 1670).

1673. Il calore medio annuale dei punti del globo ha spesso un rapporto differente dal calore medio delle loro rispettive stagioni; per cui avviene che due luoghi, appartenenti alla medesima zona ed anche alla medesima linea isotermica, hanno l'inverno e l'estate di calore medio molto differente. È per ciò che si distinsero le *linee e le zone isochimeniche* o d'egual calore iemale, le quali si allontanano dai paralleli geografici ancor più delle isotermiche. Si guidarono del pari le *linee e le zone isoteriche* o d'egual calore estivo.

Se le diverse zone termiche fossero determinate con osservazioni

esatte, con istromenti perfetti e con un piano uniforme, si avrebbero nei confronti dei risultati di grande interesse per la medicina, per l'agricoltura, per la botanica e per parecchie arti. Potrebbe accadere infatti che in un paese si riunissero l'estate e l'inverno appartenenti a due luoghi posti su differenti linee isotermiche: Udine, per es., posta a 46°. 4' di latitudine nord, ha l'egual inverno di Haarlem in Olanda alla latitudine 52°. 24' nord e l'egual estate con Buenos-Aires alla latitudine 34°. 37' sud; vale a dire che la città italiana è isochimenica con quella olandese ed isoterica coll'americana; mentre la loro temperatura media annuale è per Udine di 12°,8, per Haarlem di 10°,0 e per Buenos-Aires di 16°,9, ossia le tre città non appartengono alla stessa linea isotermica. Parimenti Genova sarebbe isochimenica con Abbevilla lat. 54°. 10' ed isoterica col Capo di Buona Speranza lat. 33°. 55', essendo i tre luoghi ben differenti nella posizione isotermica, avendo sotto questo rapporto i calori di Genova 15°,5, di Abbevilla 17°,5 e del Capo 19°,1. Questa differenza dal lato isochimenico ed isoterico spiega come in alcuni luoghi prosperano certe piante che riescono stentate in altri.

1674. Humboldt, che ha imaginato pel primo questi confronti, descrisse sulla carta le linee isotermiche, isochimeniche ed isoteriche, distribuendo i luoghi per rapporto alla meteorologia nell'egual maniera che sono distribuiti dal geografo col mezzo dei circoli paralleli e dei meridiani. Il celebre fisico di Berlino lamenta pure che non si abbiano ancora dati numerosi e sicuri per dare alle *carte meteorologiche* la perfezione, che si richiede nell'attuale stato dell'incivilimento. Conducendo sul globo terracqueo le diverse zone termiche, ne risultano due luoghi di minima temperatura, che furono denominati *poli di freddo* o meglio *poli termici*, alla distanza dei quali vi sarà una linea isotermica di massimo calore, che costituirà l'*equatore termico* (1), che non coincide col geografico.

1675. I paesi della terra si sono divisi anche in *climi*, i quali si distinguono in riguardo non solo alla temperatura media annuale, ma eziandio alle variazioni di calore dei giorni, dei mesi e delle stagioni. Le denominazioni dei climi dipendono dalla limitazione delle sette diverse zone (§. 1672). I paesi della prima zona hanno il *clima cocente*; quelli della seconda il *clima caldo*; gli altri della terza il *clima dolce*; gli appartenenti alla quarta il *clima temperato*; i compresi

(1) Pei poli di freddo si vegga la *Meteorologia* succitata di Kaemtz, p. 405 e 406; ed un lavoro di lui nel *Jahrbücher* di Schumacher del 1841.

nella quinta il *clima freddo*; i pochi spettanti alla sesta il *clima freddissimo*, ed infine quelli della settima il *clima glaciale*. I climi poi, che si trovano nella medesima zona, si sogliono da qualche fisico distinguere in *climi costanti* ed in *climi variabili*: i primi non offrono delle grandi differenze di temperatura nel corso dell'anno, al contrario dei secondi in cui succedono tali differenze. I *climi eccessivi* sarebbero quegli altri dove le differenze di calore sono grandissime. Si riconosce un paese a quale delle ultime tre categorie di climi appartiene, valutando la media del mese il più caldo, ordinariamente luglio, e del mese il più freddo, gennaio: se le medie di questi due mesi differiscono fra loro al più di 10°, allora il paese ha il clima costante; se la differenza è compresa tra 10° e 20° in 22° il clima è variabile; se infine supera 22°, il clima è eccessivo. In Udine la temperatura media di gennaio, il mese più freddo, è di 2°,32; e quella di luglio, il più caldo, risulta di 22°,71; per cui avendosi la differenza di 20°,39, il clima di quella città entra appena nella classe dei variabili. Tutti i paesi compresi nella prima zona hanno il clima costante. Il mese più caldo di Nuova Jork ha la media di 27°,1, e il più freddo di —3°,7, per cui quella città ha il clima eccessivo, essendo la differenza di 30°,8. Queste determinazioni sono importanti per riconoscere che le specie dei vegetali non possono essere le medesime nelle tre diverse classi di climi.

Sogliono alcuni eziandio distinguere i *climi marini* ed i *climi continentali*. A misura che si discosta dalla spiaggia del mare per internarsi nei continenti, cresce la differenza fra la temperatura dell'estate e quella dell'inverno. Una tale differenza però cresce pure allontanandosi dall'equatore andando verso i poli; per cui bisogna in questo confronto prendere dei paesi situati presso a poco alla medesima latitudine. Nei climi marini la differenza, fra la temperatura media dell'estate e quella dell'inverno, è piccola, ed aumenta coll'internarsi nel continente. I climi marini tendono comunemente ad entrare nella classe dei climi costanti, mentre i climi continentali fanno parte d'ordinario dei climi variabili ed eccessivi. La gran capacità dell'acqua pel calorico (§. 1039) fa sì che i mari, i quali si estendono dall'uno all'altro polo, sono più freddi nell'estate e più caldi nell'inverno dei continenti. Da questo nasce la minore differenza di temperatura fra l'estate e l'inverno nei luoghi situati in riva al mare in confronto del continenti (§. 1670), e quindi la minore oscillazione di calore a Genova in confronto di Udine (§. 1669).

1676. In riguardo alla diminuzione di temperatura sugli alti

monti (§. 1671), nasce naturalmente il pensiero d'altezze dove i vapori si congeleranno. Si suole perciò segregare l'atmosfera in due parti da una linea, che si chiama *limite delle nevi perpetue*, al di sopra del quale queste si accumulano senza essere fuse durante la calda stagione. La temperatura dei monti è più o meno modificata dall'irradiazione notturna secondo lo stato dell'atmosfera, dalla superficie scoscesa del terreno, dalla nudità del suolo, dall'umidità dei boschi e delle foreste e dalle correnti d'aria discendenti da vette più elevate; è inoltre alterata dai venti orizzontali provenienti da regioni più o meno calde, dalla quantità di neve caduta nell'inverno, dalla vicinanza d'altri monti, dalla distanza più o meno grande dal mare, dall'estensione e dall'elevazione della pianura all'intorno e da altre accidentalità di luogo (§. 1661) È appunto per ciò che su alcuni monti la neve caduta subisce un rammollimento od un principio di fusione, per cui s'imbeve d'acqua, che poscia si congela e forma i cumuli detti *ghiacciaie* (§. 1642); su altri invece copre la superficie senza andar soggetta a tale modificazione e stabilisce così il *limite*, il quale varia d'altezza nelle diverse regioni e forma una curva flessuosa, la cui convessità è rivolta ora verso l'alto ed ora verso il basso (1).

Sulla catena dei monti Aldani in Siberia, latitudine 60°. 35', la neve incomincia a conservarsi in tutto l'anno all'altezza di 1364m colla temperatura media di 4°,2 del piano posto alla stessa latitudine; sul versante settentrionale dei Monti Urali, latitudine 59°. 40', si conserva all'altezza di 1460m colla temperatura media di 1°,2 della pianura circostante; sulle Alpi, latitudine 45° in 46°, all'altezza di 2144 colla temperatura media di 11°,2 dei luoghi all'intorno; sul Caucaso, latitudine 43°, all'altezza di 3235m colla temperatura media di 13°,8 del paese attiguo; sui Pirenei, latitudine 42° ½ in 43°, all'altezza di 2728m colla temperatura media di 15°,7 del territorio circonvicino; sull'Etna, latitudine 37°. ½, all'altezza di 2905m colla temperatura media di 18°,8 del piano sottoposto; a Quito, latitudine 0°. 0', all'altezza di 4818m colla temperatura media di 27°,5 della pianura circostante.

1677. È difficile che l'atmosfera conservi una calma in tutta la massa d'aria, di cui è formata (§. 602). La differenza di temperatura è la causa principale del suo squilibrio (§. 904), per cui nascono le

(1) Si vegga la Memoria *Sul limite delle nevi perpetue* di Humboldt negli *Annales de chimie et de physique*, seconda serie, t. XIV.

meteore aeree od i *venti* (§. 677). Alla generazione dei venti contribuiscono potentemente lo scioglimento delle nubi in pioggia, le eruzioni vulcaniche, i terremoti, ed in qualche grado il rapido corso delle acque come quello dei fiumi e dei mari ecc. L'evaporazione concorre pure alla generazione dei venti, principalmente quando è rapida e succede sopra una grande estensione. Imperocchè per essa aumenta il volume d'aria in maggiore proporzione della massa (§. 619) e diminuisce così la gravità specifica (§. 127), che produce lo squilibrio atmosferico come col calore. Il celebre d'Alembert riteneva che l'attrazione della luna e del sole per l'atmosfera sia la causa dei venti. I venti soffiano talvolta in date ore del giorno ed in tempi determinati, oppure si mantengono sempre in azione con più o meno forza, od infine sorgono senza veruna regolarità e succedonsi senza verun ordine. Si sono pertanto divisi in tre classi: *venti periodici*, *venti continui* e *venti irregolari*. I continui furono da alcuni chiamati *costanti* con poca giustezza di vocabolo, potendosi tale espressione riferire tanto alla durata quanto alla forza. Lo stesso si dica degli irregolari denominandoli *variabili*, significazione che può essere riferita anche alla forza ed alla direzione. Dobbiamo altresì aver riguardo alla loro origine e distinguere i *venti per impulsione* dai *venti per aspirazione*. I primi si propagano nello stesso verso della forza da cui sono prodotti, come sarebbe della corrente uscente dal cannello del soffietto in cui l'aria è compressa. Il moto dei secondi succede in direzione contraria a quella dovuta alla causa da cui nascono; così il soffio continuo d'aria, che entra per le fessure degli usci d'una camera riscaldata, ha un moto contrario all'aria calda uscente per le fessure superiori da cui è prodotto (§. 676).

Sono *periodici* i venti che spirano in alcune ore del giorno sui nostri laghi e nascono dalla diminuzione di peso specifico dell'aria circostante all'acqua in causa della dilatazione prodotta dal riscaldamento e dall'evaporazione. A misura che il sole s'innalza sull'orizzonte, riscalda l'acqua e l'aria contigua, la quale diventa specificamente meno pesante di quella ricovrata all'ombra nelle adiacenti valli, è causa della rottura d'equilibrio, e lascia che questa, come più pesante, sbocchi verso il basso nel lago, mentre da esso s'innalza l'altra di minor gravità specifica (§. 904), generandosi così delle correnti, le quali si compongono in una sola come le forze ad angolo (§. 239), e generano il vento, che soffia ad ore determinate del giorno. Si manifesta dunque sul lago una specie d'aspirazione dalle circostanti valli, nella stessa guisa delle correnti aeree nei comuni for-

nelli (§. 675) e nelle stuffe a cassa d'aria (§. 968), ed è per ciò che, in quanto all'origine, quei venti sono d'aspirazione. Succedendo a giorni caldi una diminuzione subitanea di temperatura, avviene talvolta all'opposto: l'aria ricovrata nelle valli conserva maggior calore di quella sovrapposta al bacino, per cui s'innalza dalle valli medesime ed obbliga l'altra del lago ad accorrere e prendere il posto lasciato dalla prima. Lo stesso avviene dei venti, che soffiano sui continenti in vicinanza del mare: su molte spiaggie si osserva tutti i giorni un periodo assai regolare, e in ore fisse del giorno il vento soffia dal mare e dà luogo alla *brezza marina*; in altre il vento deriva dalla terra ed è detto *brezza terrestre*. In modo somigliante nascono i venti periodici su vaste pianure in vicinanze di grandi monti solcati da valli più o meno profonde (1).

All'innalzamento dell'aria nei venti d'aspirazione alcuni attribuiscono l'abbassamento del mercurio nel barometro, in virtù della diminuita pressione atmosferica. È pure in virtù di temperatura ineguale che, in certi tempi per le gallerie e dai pozzi delle miniere, l'aria s'innalza in correnti più o meno forti, le quali sono talvolta prodotte da una diminuzione subitanea della pressione atmosferica annunziata dal barometro, per cui all'aria, rinchiusa in quegli antri, è permesso di dilatarsi (§. 897) e d'uscirne per gli angusti anditi sotto forma di forte corrente.

I venti continui s'incontrano sull'Oceano Atlantico e sul Grande Oceano lungo la linea equatoriale, dove durano tutto l'anno dal medesimo punto dell'orizzonte. Nel mare delle Indie e in quelli contigui il vento è pure continuo, soffiando però per sei mesi dell'anno da un punto del orizzonte e per gli altri sei mesi da altro punto. Tutti questi venti dipendono pure dalle differenti condizioni termometriche dell'atmosfera, le quali, mantenendosi a quelle latitudini, danno per risultato un vento continuo. Nelle regioni di maggiori latitudini i venti sono soggetti ad intermittenza, e di rado avviene che il medesimo duri di seguito per parecchi giorni. I venti *irregolari* nascono talora da circostanze accidentali di differenza nella temperatura della massa d'aria, ma eziandio da altre cause.

1078. Lungo la zona equatoriale i venti, conosciuti sotto il nome

(1) In una Memoria pubblicata negli *Annales de chimie et de physique*, t. LXXIV, pag. 337, seconda serie, 1840, Fournet ha raccolto molti fatti di venti prodotti dall'alternativa di riscaldamento e di raffreddamento dell'aria delle montagne e della pianure

di *alisei*, sono rimarchevoli non solo per la loro continuità, ma eziandio per la loro costante provenienza dall'est. Questi venti eccitarono grande stupore ai navigatori, che nel XV secolo si cimentarono i primi a percorrere l'Oceano Atlantico. I compagni di Colombo furono colpiti da terrore quando si videro sospinti da un vento, il quale soffiava continuamente dallo stesso lato, ed era riputato di grande ostacolo al ritorno in patria.

L'atmosfera nelle regioni equatoriali si mantiene, in ogni stagione dell'anno, a temperatura più elevata di quella dei paesi che vanno accostandosi ai poli. A motivo di questo riscaldamento, l'aria s'innalza costantemente in quelle calde regioni e si dirige superiormente verso i poli; mentre al basso si forma una corrente opposta d'aria, che va verso l'equatore a prendere il posto lasciato dalla prima. In tal maniera nasce un vento settentrionale nell'emisfero boreale ed uno meridionale nell'australe: le direzioni di questi due venti, combinandosi nel loro cammino col movimento della terra da occidente in oriente, danno luogo ad un vento di nord-est nel nostro emisfero e di sud est nell'altro Imperciocchè l'aria, nella rotazione terrestre, è trasportata tanto più velocemente quanto più si trova in vicinanza dell'equatore (§. 340), questa differente velocità di rotazione e quella precedente di translazione dai poli all'equatore si compongono e producono i venti di nord-est e di sud-est. A certa distanza dall'equatore la temperatura riesce minore, rende debole l'ascensione dell'aria e quindi deboli le correnti dal nord e dal sud, per cui gli alisei cessano d'essere continui e sorgono soltanto in determinate stagioni dell'anno. È per ciò che nell'Oceano Atlantico non riesce sensibile l'aliseo in alto mare al di là di 28° in 30° latitudine nord.

L'esistenza delle due correnti contrarie, la superiore e l'inferiore, fra ciascun polo e l'equatore, è comprovata dall'osservazione degli abitanti dell'isola Barbada situata al nord delle Antille, i quali videro cadere dal cielo le ceneri provenienti dall'eruzione avvenuta nel 1812 del vulcano S. Vincenzo posto all'ovest dell'isola medesima. Queste ceneri, lanciate nelle regioni della corrente superiore, vennero trasportate dall'ovest all'est contraria al vento d'est, che dominava inferiormente. Lo stesso è accaduto delle ceneri eruttate nel 1835 dal vulcano di Cosiguina nello Stato di Guatimala, le quali caddero sui territori di Kingston e della Giamaica situati al nord-ovest di Guatimala. D'altronde, alla sommità del Picco di Teneriffa, tutti i viaggiatori riscontrarono il vento d'ovest, mentre l'aliseo regnava al livello del mare. Inoltre Paludano, navigatore molto esperto di quei

paraggi, ha parecchie volte veduto delle piccole nubi superiori muoversi in contrario verso del vento aliseo d'est. Nella zona compresa fra 2° nord e 2° sud, l'aria è riscaldata fortemente e s'innalza con tale forza da annullare i venti alisei. In tal modo la quiete orizzontale dell'atmosfera è in quei luoghi soltanto disturbata da turbini di vento chiamati dagli Spagnuoli e dai Portoghesi *tornados*, e la zona è distinta da qualche fisico col nome di *regione delle calme*, dove cadono torrenti di pioggia ed avvengono sovente degli uragani, i quali, unitamente alla causa rammentata, s'oppongono alla generazione di venti regolari.

1679. Sottoponendo a rigoroso esame tutte le circostanze dei luoghi all'intorno del mare delle Indie, Ritter spiega i venti continui colà dominanti e conosciuti dai navigatori sotto il nome di *monsoni* derivato dall'arabo. Essi dipendono dalle stesse cause degli alisei e cambiano direzione due volte all'anno in virtù dell'alternativa di predominio delle temperature della terra e del mare ad una data epoca dell'anno, per cui s'inverte la direzione del vento aliseo. In tal maniera egli dimostra che i monsoni, provenienti dal sud-ovest, regnano dall'aprile all'ottobre; e poscia dall'ottobre all'aprile succedono i monsoni del nord-est. Questi venti s'internano anche nelle vicine terre, ma la loro direzione è variata dalla configurazione dei continenti.

La prevalenza di temperatura dell'Africa e del mare si alterna nelle diverse epoche dell'anno, e il Mediterraneo ha pure i suoi monsoni di già conosciuti dagli antichi, che li chiamavano *venti etesii* od *etesie*, cioè delle stagioni. Essi non sono così rimarchevoli come quelli del mare delle Indie, quantunque si estendano sino nell'Italia e nella Grecia, dove ad un'epoca dell anno spirano dal nord-est e ad altra dall'ovest, essendo questi ultimi distinti anche col nome di *zeffiri*

1680. Alle maggiori latitudini i registri meteorologici offrono un gran numero di venti, che soffiano in differenti direzioni. Questi venti dipendono pure dall'ineguale riscaldamento dell'aria, talchè, sorgendo essi contemporaneamente in diversi luoghi con differenti direzioni, ne compongono altri diretti lungo la risultante delle velocità componenti (§. 259).

I venti impetuosi, che soffiano durante i temporali, sono prodotti dal ricondensamento in pioggia dei vapori componenti le nubi; perlocchè, formandosi uno spazio vuoto, l'atmosfera è squilibrata e genera il vento, il quale ha talvolta grande forza e riesce dannoso alle messi ed ai ricolti della campagna. L'elettrico, che spesso accompagna i temporali, ne è piuttosto l'effetto che la causa, e quindi non

sembra atto per se stesso a dar origine ai venti. Meno di alcuni pochi altri casi, la causa principale dei venti risiede nel cambiamento di densità della massa d'aria per la variazione di temperatura d'un luogo in confronto d'un altro. Si ammette per conseguenza che, *essendo due regioni contigue inegualmente riscaldate, nasce negli strati superiori un vento diretto dalla regione calda alla fredda, ed alla superficie del suolo una corrente in contrario verso.* Il continente riesce più caldo nell'estate e più freddo nell'inverno del mare attiguo, per cui i venti di mare dominano durante la calda stagione e quelli di terra durante la fredda. Quest'alternativa si riscontra sulle coste d'Italia e riesce assai sensibile su quella orientale d'America.

I venti riescono più violenti fra i monti che alla pianura per l'aumento della velocità che prende l'aria incanalata nell'angusto spazio delle valli, e ciò nella stessa guisa che la corrente d'acqua accelera il suo moto dove trova più ristretto l'orifizio (§. 552). È per tal ragione che la brezza, quasi insensibile alla pianura, diventa più forte nelle valli. Le osservazioni poi di Franklin dimostrono che i venti riescono più sensibili nei paesi dove soffiano, che in quelli in cui hanno origine.

Nei differenti paesi d'Italia si trova che dominano diversi venti in causa dei mari che la circondano, delle Alpi che si elevano alla sua estremità occidentale, e degli Appennini che l'attraversano in tutta la sua lunghezza. Riportiamo i venti che d'ordinario soffiano in luoghi della penisola diversamente situati, incominciando dall'Alta Italia e discendendo sino all'estremo opposto.

Torino. Dallo spoglio di 5 anni d'osservazioni s'apprende che i venti dominanti sono il S.O ed il N.E. Nei mesi freddi il primo soffia con maggior frequenza del secondo, ed a misura che la temperatura si eleva il S.O spira meno, sinchè nei caldi il N.E prevale all'altro. Durante il detto periodo il S.O ed il N.E hanno soffiato nel rapporto di 1000 a 889. Seguono poscia per ordine i venti di N e di S, la cui frequenza è minore di circa $^1/_3$ di ciascuno dei precedenti. Gli altri soffiano per un numero molto minore di volte: l'O, per es., ha una frequenza di circa $^1/_6$ del S.O, minore il S.E e meno ancora il N.O. Gli altri poi appariscono assai di rado e sono insignificanti.

Milano. Dai 54 anni d'osservazioni risulta che l'E è il vento dominante, poscia segue l'O, e spirano più raramente di tutti il N ed il S. La risultante della loro direzione media è di E.N.E determinata col principio del parallelogrammo delle forze (§. 250).

Udine. Dal quarantennio d'osservazioni si deduce che i venti sof-

fiano secondo i rapporti seguenti, relativamente al totale espresso da 1000: l'E 274, il N 182, il S 164, il N.E 135, il S.E 72, l'O ed il S.O 66, ed il N.O 43.

Bologna. Secondo Palagi i venti dominanti sono per ordine i seguenti: l'O, il N O, l'O N.O ed il N.N O.

Genova. Nel decennio d'osservazioni riescirono di maggiore frequenza i venti di N e di S.E, e poscia quelli di N.E e di S.O ed infine il S. Spirano poi meno di tutti l'O ed il N.O.

Firenze. Dai 20 anni d'osservazioni si ricava che il vento di S.E si riscontra più d'ogni altro durante tutto l'anno.

Siena. Da un quinquennio d'osservazioni s'apprende che i venti soffiano secondo i seguenti rapporti, rappresentando il totale con 1000: il S O 277, il N.O 258, il N E 235 ed il S.E 230.

Napoli. Da 12 anni d'osservazioni s'impara che il vento dominante è il S O, cui si avvicina il N.E, indi seguono gradatamente il N ed il S, e poscia il S S.O, il N N.E, l'O, il N O ed il S.S.E. Il meno frequente di tutti è l'E S.E.

La diversità di direzione dei venti dominanti in ognuna delle regioni d'Italia si spiega coi principii esposti: all'avvicinarsi della calda stagione, l'aria si rarefà sulle pianure e colla sua ascensione obbliga quella dei monti contigui a discendere in corrente, eccitando così un vento, che procede da differente plaga dell'orizzonte secondo la situazione dei paesi relativamente ai monti medesimi, e che si compone talvolta con altri, sorti nei luoghi posti principalmente vicini al mare.

1681. Abbiamo indicato la direzione dei venti colle iniziali dei nomi esprimenti i punti cardinali e collaterali dell'orizzonte. Il modo però di scrivere queste indicazioni richiede che sia dichiarato per ogni caso e che si aggiunga ai nomi scientifici quelli volgari corrispondenti, in uso d'ordinario presso i piloti italiani. L'orizzonte è comunemente diviso in otto parti eguali e ciascuna parte si suddivide talvolta in due per averne 16, e ben anche se ne ottengono 32 con altra suddivisione. Si hanno con ciò altrettante direzioni, le quali costituiscono la *rosa dei venti*. Essa consiste in un cerchio (fig. 514) diviso in 32 parti eguali, che chiamansi *rombi di vento* e che determinano l'egual numero di direzioni. Il diametro NS, che passa pei poli del mondo, ha l'estremità rivolta al nord segnata con N e l'opposta verso il sud distinta con S. L'altro diametro EO, perpendicolare al precedente, è segnato con E all'estremità diretta verso l'est o alla destra di chi guarda il nord, e con O l'opposta

che dinota l'ovest. Questi punti cardinali danno il nome ai venti, che provengono dai medesimi, e si chiama perciò vento di nord, d'est ecc. secondo che soffia dal nord, dall'est ecc. I nomi dei venti, intermedii ai quattro cardinali, partecipano da quelli di questi combinati nel modo seguente: il vento, che spira nel giusto mezzo di due venti cardinali, prende il nome dai due fra cui trovasi, coll'avvertenza di far precedere sempre quello corrispondente al polo; così si chiama *vento nord-est* quando soffia nella direzione di mezzo al nord ed all'est, e così si dica del *nord-ovest*, del *sud-est* e del *sud-ovest*. Questi quattro venti chiamansi *collaterali di primo ordine*. Rispetto alla denominazione dei venti posti frammezzo ad un collaterale e ad un cardinale, vale la stessa regola, avvertendo di far precedere il nome del vento cardinale a quello del collaterale. Si ottiene in tal guisa il *vento nord-nord-est*, intermedio al nord ed al nord-est, e così degli altri. Questi venti si appellano *collaterali di secondo ordine*. In riguardo ai nomi dei venti intermedii ai già notati, si osserva la norma seguente: il nome si compone di quello del vento cardinale o collaterale di primo ordine più vicino seguito dalla frazione $^1/_4$ coll'aggiunta del collaterale di primo ordine o del cardinale fra i quali è posto; così *nord $^1/_4$ nord-est* indica essere la direzione vicina al nord e la sua distanza da questo di $^1/_4$ dell'intervallo da cui è separato dal nord-est, parimenti *nord-est $^1/_4$ nord* significa essere la direzione prossima al nord-est e distante da questo punto di $^1/_4$ dall'intervallo che lo divide dal nord. Questi ultimi si appellano *quarte di vento*, ed anche *collaterali di terzo ordine*. Nella figura sono notate le espressioni simboliche delle 32 denominazioni, che si danno anche nella seguente tavola unitamente ai nomi volgari corrispondenti ed alle distanze in gradi di cerchio contate dal punto cardinale, cui si riferiscono.

NOMI SCIENTIFICI	SIMBOLI	NOMI VOLGARI	DISTANZE
1. **NORD** . . .	N	**Tramontana o settentrione o borea.**	0° 0'
2. Nord quarta nord-est	N 1/4 N.E	Quarto di tramontana a greco	11. 15
3. Nord-nord-est .	N N.E	Greco tramontana . . .	22. 30
4. Nord-est quarta nord.	N.E 1/4 N	Quarto di greco a tramontana	33 45
5. Nord-est	N.E	**Greco o Volturno** . .	45. 0
6. Nord-est quarta est .	N.E 1/4 E	Quarto di greco a levante	56. 15
7. Est-nord-est . .	E N.E	Greco-levante .	67. 30
8. Est quarta nord-est .	E 1/4 N.E	Quarto di levante a greco . . .	78. 45

NOMI SCIENTIFICI	SIMBOLI	NOMI VOLGARI	DISTANZE
9. **EST** . . .	E	**Levante** od **oriente** o **Solano**.	0. 0
10. Est quarta sud-est.	E 1/4 S.E	Quarto di levante a scirocco .	11. 15
11 Est-sud-est	E S.E	Levante-scirocco	22. 30
12 Sud-est quarta est . .	S.E 1/4 E	Quarto di scirocco a levante . .	33. 45
13 Sud-est	S.E	**Scirocco** . . .	45. 0
14. Sud-est quarta sud . .	S E 1/4 S	Quarto di scirocco ad ostro	56. 15
15 Sud-sud-est	S.S.E	Ostro-scirocco	67. 30
16. Sud quarta sud-est . .	S 1/4 S E	Quarto di ostro a scirocco .	78 45
17 **SUD** . .	S	**Ostro** o **austro** o **mezzodì**	0 0
18. Sud quarta sud-ovest .	S 1/4 S O	Quarto di ostro a libeccio	11 15
19 Sud-sud-ovest	S.S.O	Ostro-libeccio.	22. 30
20. Sud-ovest quarta sud . .	S O 1/4 S	Quarto di libeccio ad ostro. . .	33. 45
21. Sud-ovest	S.O	**Libeccio** o **garbino** .	45 0
22 Sud-ovest quarta ovest .	S O 1/4 O	Quarto di libeccio a ponente .	56 15
23. Ovest-sud-ovest . . .	O.S.O	Ponente-libeccio . .	67. 30
24. Ovest quarta sud-ovest	O 1/4 S O	Quarto di ponente a libeccio . .	78. 45
25. **OVEST**. .	O	**Ponente** od **occidente** o **Favonio**	0 0
26 Ovest quarta nord-ovest	O 1/4 N.O	Quarto di ponente a maestro .	11. 15
27. Ovest-nord-ovest . .	O N.O	Ponente-maestro	22. 30
28. Nord-ovest quarta ovest	N.O 1/4 O	Quarto di maestro a ponente. .	33. 45
29. Nord-ovest	N.O	**Maestro** o **maestrale**. .	45. 0
30. Nord-ovest quarta nord.	N.O 1/4 N	Quarto di maestro a tramontana	56. 15
31 Nord-nord-ovest	N N O	Maestro-tramontana	67. 30
32. Nord quarta nord-ovest.	N 1/4 N O	Quarto di tramontana a maestro	78. 45

Nei registri meteorologici si scrivono d'ordinario 8 direzioni di venti, o al più 16, e di rado le 32 della rosa. In qualche caso particolare però riesce utile di avere una maggiore approssimazione, notandone la direzione in gradi di cerchio contati dal sud o dal nord ed indicando se la deviazione dal meridiano è orientale od occidentale. In tal modo N.81° E significa che il vento spira tra il nord e l'est ed a 81 gradi dal meridiano, e tale appunto è la direzione media ad Udine risultante dalle osservazioni di Venerio in 40 anni; parimenti S 37°.E dinota che soffia fra il sud e l'est ed a 37 gradi di distanza dal sud. Ci saremo già accorti che i venti si nominano dalla plaga dell'orizzonte da cui soffiano, e non da quella cui sono diretti, come è delle correnti d'acqua. L'aliseo, per es., proviene dall'oriente e si chiama per ciò vento d'est (§. 1678), essendo diretto verso l'ovest; per cui il fiume Po, andando verso l'est, avrebbe la sua corrente contraria al vento d'est.

1682. La direzione dei venti si determina coll'*anemoscopio* formato d'un'asticciuola cilindrica, cui è congiunta saldamente una lamina di ferro alla foggia di bandiera, ed è imperniata verticalmente sulla parte più elevata della specola meteorologica. L'asticciuola è girevole per ogni verso e porta inferiormente una lancetta od indice, che nella rotazione descrive la periferia del cerchio della rosa dei venti. I movimenti dell'asta si comunicano talvolta, per mezzo di ruote dentate, ad un asse orizzontale, il cui indice scorre sulla rosa dei venti posta verticalmente (fig. 515). Il vento fa ruotare l'asticciuola e ne rivolge la lamina nella sua direzione, la quale è segnata dall'indice sul cerchio della rosa. La *banderuola*, che si colloca sul comignolo delle case e sulla cima delle torri, indica nella stessa guisa il vento che spira, deducendosene la direzione dalla plaga dell'orizzonte contraria a quella cui si rivolge la lamina.

Si è imaginato altresì l'*anemografo*, che sopra un foglio di carta lascia segnata la direzione del vento. Il più semplice, di quelli da me veduti in opera, è quello fatto costruire dal prof. Moscati sulla specola or addetta al Gabinetto di fisica del R. Liceo a S. Alessandro in Milano (1). L'asticciuola dell'apparato è munita di otto cunei disposti secondo i principali venti. Nella rotazione, l'uno o l'altro dei cunei sospinge la rispettiva molla, per la quale è premuta una matita contro il foglio di carta disteso sopra un tamburo, che compie regolarmente l'intera rivoluzione in 24 ore. L'una o l'altra delle matite segna sulla carta una linea, dalla cui posizione e lunghezza si riconosce la specie di vento e il tempo che ha soffiato.

1683. Abbiamo già mostrato in qual maniera si valuta la velocità e la forza del vento (§. 681): sulle specole però è necessario di disporre un apparato apposito chiamato *anemometro*. Esso consiste comunemente in una ruota ad ali inclinate come il mulino a vento (§.274), il cui asse orizzontale è munito d'un gancio, che porta una funicella. Le ali del mulinello vengono condotte, dalla banderuola annessa, nella direzione del vento, il quale urtandole ne fa girare la ruota in un all'asse, su cui si avvolge la funicella. Questa nell'avvolgimento tira un dinamometro (§. 190 al 192), da cui è misurata la gagliardia del vento che soffia. Si è anche intagliato l'asse a foggia della vite facendone imboccare l'elica nei denti d'una ruota come nella vite perpetua (§. 467). Notando la posizione della ruota al principio ed al fine dell'osservazione, si deduce facilmente il numero dei giri

(1) *Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti*. Milano, t. IV, pag. 123.

fatti dall'asse dell'anemometro, e quindi la velocità e la forza del vento. Sulla sommità dell'asticciuola dell'anemoscopio si suole collocare una lamina quadrata di data superficie, sospesa in un telaio di ferro per un suo lato con due perni orizzontali, intorno cui è mobilissima. Un arco di cerchio graduato misura la deviazione della lamina dalla verticale, e dall'angolo osservato si deduce la forza del vento sulla lamina (§. 394), così allo strumento per la direzione del vento si ha congiunto quello che ne misura la forza

Tutti gli anemometri sono soggetti all'inconveniente d'esser necessaria la presenza dell'osservatore per misurare la velocità del vento, quando importerebbe di ottenerne le diverse gradazioni durante tutto il tempo che soffia A tal fine si è imaginato l'*anemometrografo*, il più semplice dei quali ci sembra quello fatto costruire da Moscati per la specola nominata e descritto negli *Opuscoli scelti* succitati. La funicella, nell'avvolgersi all'asse del mulinello, solleva una specie di pendolo, cui è congiunta una matita posta a contatto d'un foglio di carta di determinata grandezza. Il foglio, disteso sopra un telaio, è mosso da un congegno di orologeria percorrendo in 24 ore uno spazio eguale alla sua lunghezza, e su di esso sono delineate delle rette orizzontali corrispondenti alle forze necessarie a sollevare la matita del pendolo a diverse altezze. In tal guisa, durante le ore di vento, la matita descrive sulla carta una curva, la quale esprime colle sue ordinate verticali le forze del vento nei diversi istanti dell'intera giornata. La forza, per sollevare il pendolo, è stata previamente valutata coll'esperienza, oppure col principio altrove dichiarato (§. 394).

1684. I venti in generale riescono molto vantaggiosi: essi preservano l'atmosfera dalla corruzione, conducendo altrove le esalazioni pestilenziali degli ospedali, i prodotti nocivi della respirazione sparsi nei luoghi dove convivono molte persone (§. 1200), i gas micidiali risultanti dalle combustioni (§. 1176) e tutte le emanazioni dannose alla vita degli uomini, parimenti trasportano dal mare sui continenti i vapori, che, sciogliendosi in pioggia, rendono feconde le campagne (§. 1642); servono inoltre come utili motori nella meccanica (§. 271) e nella nautica (§. 270). È una proprietà provvidenziale delle leggi della natura che, mentre gli animali nella respirazione assorbono l'aria vitale o l'ossigeno (§ 725) e ne emettono l'acido carbonico (§ 1200), i vegetali decompongono sotto l'azione della luce questo fluido appropriandosi il carbonio pel loro accrescimento e lasciando libero l'ossigeno (§ 885). Il gas ritorna

in tal modo nell'atmosfera a ricompensarne le perdite, e si mescola di nuovo uniformemente coll'aria (§. 622). Le qualità dei venti dipendono specialmente dalla natura dei territori donde provengono. I venti di mare sono umidi, quelli dei monti sono freddi, gli altri spiranti da vasti continenti sono secchi. Basta gettare l'occhio sui registri meteorologici per accorgersi che il medesimo vento, apportatore di pioggia per un paese, conduce la serenità in un altro. Il scirocco, provenendo dalle calde regioni dell'Africa e transitando sul Mediterraneo, riesce nocivo alla salute pel suo calore e per la sua umidità inducendo un estremo spossamento nelle forze vitali.

Al mezzodì dell'Europa i venti settentrionali prendono talvolta grande violenza. L'opposizione, per es., fra la calda temperatura del Mediterraneo e dei mari adiacenti e quella fredda delle Alpi, fa nascere delle correnti aeree di grande rapidità. Nella Dalmazia e nell'Illiria italiana il vento del nord è conosciuto sotto il nome di *bora* ed ha talvolta abbastanza forza da rovesciare cavalli e carri. Questi venti, quando si riuniscono a quelli sorti nei temporali (§.1680), imperversano con tale impeto da cagionare notevoli guasti e rovine.

1685. I venti prendono inoltre nomi particolari secondo gli effetti che producono, e le circostanze da cui sono accompagnati. Quando il vento soffia sul mare e ne agita grandemente le acque, chiamasi *burrasca*, che se è prodotto da repentino condensamento di nubi ed è accompagnato da pioggia, grandine, lampi, tuoni ecc., allora sui mari prende il nome di *procella* o *tempesta*. Avvenendo i due fenomeni sui continenti si appellano rispettivamente *bufera* ed *oragano*. La bufera si restringe d'ordinario a piccolo tratto di paese ed è un fenomeno passeggero; la burrasca ha un effetto più prolungato nell'agitazione delle acque del mare. La procella e l'oragano si comprendono sotto il nome generico di *temporali*, essendo ambidue i fenomeni accompagnati da pioggie, tuoni, lampi, fulmini ecc., e chiamandosi il primo anche *temporale di mare* e il secondo *temporale di terra*. Il vento può avere tale veemenza da produrre nelle acque dei movimenti pericolosi ai navigli ed essere causa di terribili disastri; e sui continenti delle devastazioni e rovine sradicando ed abbattendo gli alberi, rovesciando edifizi e simili.

Due venti formano il *turbine* quando soffiano in direzione opposta e s'incontrano lateralmente, dando nascimento ad una colonna vorticosa, che si rivolge intorno a se medesima e trasporta in alto delle colonne d'arena ed altri corpi posti sul suolo sottoposto. Allorquando i due venti hanno grande veemenza, il fenomeno prende

il nome di *sifone* o *tromba terrestre*, la quale appellasi *tromba di mare* o *sifone* se succede sulle acque ed è causa dell'innalzamento di voluminose colonne di questo liquido. Gli effetti, che si osservano nelle trombe di terra e di mare, sembrano prodotti dal vuoto che si forma nel vortice, dove sono spinti i corpi dalla pressione atmosferica, come l'innalzamento dell'acqua nelle trombe aspiranti (§. 680) e l'inabissamento dei corpi nei vortici delle acque (§. 1654).

1686. I venti e qualche altra meteora hanno influenza sull'elevazione della colonna barometrica e vi generano delle *variazioni accidentali*, che vanno distinte dalle *variazioni orarie*, di cui ci siamo riserbati di parlare in questo capitolo (§. 649). Le osservazioni c'istruiscono che in ciascun luogo vi ha un'*oscillazione diurna*, la quale consiste in due elevazioni massime e in due minime, che avvengono ogni giorno nell'intervallo delle 24 ore. Quest'oscillazione diurna ci guida a sottoporre a rigoroso esame il metodo di valutare l'altezza media barometrica del luogo.

Si farà uso nelle osservazioni d'un esatto barometro, fornito di nonio, che dia almeno i decimi di millimetro. Il barometro a galleggiante, o l'altro di Origo (§. 643), oppure quello di Gay-Lussac (§. 645), muniti di un sistema lenticolare per osservarli, sono i migliori. È indispensabile pure pei confronti di ridurre i risultati alla stessa temperatura, che è d'ordinario lo zero, e correggere così i cambiamenti prodotti dalla dilatazione del mercurio e della scala, come pure gli errori della capillarità; e tutto ciò secondo le norme date (§. 642). Affine di risparmiare i ripetuti calcoli, si sogliono compilare delle *tavole di correzione* per la dilatazione del mercurio e della scala, e per la capillarità del tubo. Notiamo infine che qualche fisico consiglia di ridurre i risultati delle osservazioni barometriche a 12,5 C. invece dello zero, per riuscire così comparabili colle medie delle antiche osservazioni, cui non si soleva fare la correzione, corrispondendo tale temperatura presso a poco alla media dei climi dei principali luoghi d'Europa. In simili confronti è meglio però ridurre allo zero la media dell'altezza barometrica delle antiche osservazioni, secondo la temperatura media corrispondente, che non fare la riduzione delle nuove allo zero stesso.

1687. L'oscillazione diurna della colonna barometrica si manifesta regolarmente nei luoghi posti fra i tropici, dove non è disturbata dalle variazioni accidentali prodotte dai fenomeni atmosferici nei paesi di maggiori latitudini. Fra i tropici poche osservazioni bastano a farci accorti dell'oscillazione diurna, mentre negli altri paesi si

richiedono alcuni anni per riconoscerla. Chiminello è stato il primo a stabilirla con una serie non interrotta d'osservazioni d'ora in ora istituite a Padova dal 1778 al 1780. Humboldt richiamò in seguito l'attenzione dei fisici su tale oscillazione trovata così regolare fra i tropici, e Ramond si dedicò a verificare il fenomeno con molta diligenza a Clermont-Ferrand ed altri meteorologisti più tardi ne imitarono l'esempio, fra i quali Hallström ad Abo nella Finlandia, dove per la poca amplitudine riesce più difficile a sbarazzarla dalle variazioni accidentali, Kaemtz ad Halle e Kuppfer a Pietroborgo ecc. L'oscillazione diurna va diminuendo al crescere della latitudine dei luoghi, essendo massima all'equatore e minima verso i poli.

Dalle serie d'osservazioni d'ora in ora istituite dai nominati fisici e da altri si deduce che dopo mezzodì il barometro s'abbassa sino alle 3 od alle 5 ore di sera, momento in cui raggiunge l'*elevazione minima*; poscia risale e tocca la *massima* tra le 9 e le 11 ore di sera. Torna di nuovo a discendere pervenendo alla seconda *minima* verso le 4 mattutine, per rialzarsi ed arrivare alla seconda *massima* verso le 10. Le ore degli estremi dell'oscillazione diurna sono forse le medesime nei diversi paesi, e le piccole differenze nascono probabilmente dalle variazioni accidentali, che scompariscono soltanto nelle lunghe serie d'osservazioni. Prendendo quindi la media di tutte quelle istituite nel nostro emisfero dall'equatore a Pietroborgo, Kaemtz stabilisce pei *massimi* e *minimi* dell'oscillazione diurna le ore seguenti. *minimo* del matt. 3or 45'; *massimo* del matt. 9or 37'; *minimo* della sera 4or 5'; *massimo* della sera 10or 11'. Bisogna però aver riguardo alle stagioni, come quanto prima vedremo. Questi movimenti di depressione e d'ascensione sono d'altronde all'equatore così regolari, che come l'orologio potrebbero indicare le diverse ore del giorno.

1688. *L'amplitudine dell'oscillazione diurna si determina sottraendo dalla semisomma dei due massimi quella dei due minimi.* Limitandosi alla differenza del massimo e del minimo del solo mattino, oppure alla differenza di quelli della sola sera, si rischierebbe d'incorrere in qualche errore dipendente dalle variazioni accidentali e repentine, tanto più che l'amplitudine non è molto grande all'equatore e piccolissima alle maggiori latitudini. Alle differenti distanze dal nostro polo essa risulta come segue:

Latitudine	Oscillazione		Latitudine	Oscillazione
0°. 0'	mm. 2,28	—	39°. 4'	mm. 1,13
5. 26	« 2,26	—	43. 34	« 0,90
17. 32	« 2,03	—	48. 1	« 0,67
23 55	« 1,80	—	52. 53	« 0,45
29. 28	« 1,58	—	57. 17	« 0,23
34. 26	« 1,35	—	70. —	« 0,18

Venerio osservava il barometro quattro volte al giorno, cioè . I al levare del sole; II. alle 8 od alle 9 $^1/_2$ matt., nei mesi caldi dall'aprile al settembre prendeva le 8, e nei freddi dall'ottobre al marzo le 9 $^1/_2$, e ciò, come egli dice, per cogliere le fluttuazioni periodiche diurne; III. alle 2 $^1/_2$ ed alle 4 di sera, nei mesi caldi alle 4 e nei freddi alle 2 $^1/_2$ per uniformarsi al movimento discendente; IV. alle 10 sera Negli ultimi 15 anni del quarantennio d'osservazioni, gl'innalzamenti massimi delle 8-9 $^1/_2$ mattina e delle 10 sera risultano presso che uguali e danno in termine medio mm. 753,897, mentre l'elevazione minima delle 2 $^1/_2$-4 sera riesce di mm. 752,971. Sottraendo l'uno dall'altro numero si ha ad Udine, lat. 46°,4' e sul mare 109^m,50, che l'oscillazione diurna è di mm. 0,926. Ramond a Clermont-Ferrand, latit. 45°,46' ed altezza sul mare 418^m, ha ottenuto mm. 0,94 Diamo questi esempi per mostrare come si valuti l'oscillazione diurna, quando si abbia soltanto un'osservazione dell'ora del minimo, e le due massime.

1689. Le ore delle ascensioni e delle depressioni estreme barometriche dell'oscillazione diurna cambiano secondo le stagioni, anzi variano di mese in mese Chiminello, più tardi Ramond (1) e poscia altri osservatori hanno riscontrato una tale variazione. Ecco le variazioni rinvenute da Chiminello a Padova:

Elevaz	Inverno		Primavera		Estate		Autunno
Minima	5$^{or.}$ 5' matt.	—	5$^{or.}$ 7' matt.	—	5$^{or.}$ 18' mat.	—	5$^{or.}$ 4' matt.
Massima	0. 58 «	—	11. 21 «	—	11. 56 «	—	11. 22 »
Minima	4. 50 ser.	—	4. 6 ser.	—	4. 8 ser.	—	4. 14 ser.
Mass.	10. 5 «	—	10. 58 «	—	9. 58 «	—	10. 7 «

(1) *Saggio meteorologico di Padova*, t. I, pag 103 e t III, pag 88, e *Mémoires de l'Institut de France*, volume del 1808, pag. 103

In generale, dalle osservazioni di Kaemtz ed altri fisici, apparisce che il minimo ed il massimo mattina vanno sempre più ritardando a misura che dai mesi freddi si passa ai mesi caldi e viceversa; mentre che il minimo ed il massimo sera anticipano sempre più andando dai mesi freddi a quelli caldi e viceversa. Le ore dei massimi e minimi variano eziandio coll'altezza sul livello del mare; ma le osservazioni sono ancora troppo scarse per ritrarne qualche legge generale.

Le stagioni influiscono altresì sull'amplitudine dell'oscillazione diurna, essendo minima nei mesi freddi ed aumentando successivamente sino a diventare massima nei caldi, per decrescere di nuovo dall'estate all'autunno sino all'inverno. L'amplitudine diminuisce poi coll'elevazione sul livello del mare, riescendo minore sugli alti monti che alla pianura.

1690. Allorquando si vuol mettere a confronto la pressione atmosferica di diversi luoghi, bisogna determinare per ciascuno l'*elevazione media del barometro*, nello stesso modo che essi si paragonano in riguardo al calore colle temperature medie (§ 1663). Si osserverà quindi il barometro nelle ore in cui cadono le elevazioni massima e minima nel corso delle 24 ore, per dedurne la *media giornaliera*, come col termometro (§. 1665). Siccome poi nell'intervallo delle 24 ore si hanno due massimi, l'uno al mattino e l'altro alla sera, come pure due minimi, che succedono tutti ad ore conosciute (§. 1687); così si faranno quattro osservazioni, due nel mattino a 3ore 45' ed a 9ore 37', e due nella sera a 4or 5' ed a 10or 11'. *La media delle quattro osservazioni eguaglierà la media giornaliera richiesta.* Le osservazioni del barometro a mezzodì non valgono dunque a tale intento, non servendo esse che per alcune indagini particolari della meteorologia comparata. Non si comprende quindi come a Milano, a Torino, a Genova, a Firenze, a Siena, a Napoli, a Palermo, a Parigi ed in molte altre specole d'Italia e dell'estero siasi fissato, fra le osservazioni quotidiane ordinarie, l'ora del mezzodì, *la quale*, lo ripetiamo, *non serve a valutare l'elevazione media barometrica.*

Venerio ad Udine ha giudiziosamente abbandonato il mezzodì nelle osservazioni barometriche continue, istituendo invece quella del levare del sole (§ 1688), *la cui elevazione corrisponde con molta approssimazione alla media giornaliera* Ottenendosi infatti l'*elevazione media mensuale* del barometro dalla media delle giornaliere, come si fa col termometro (§ 1666), l'*elevazione media annuale* da

quelle dei mesi e l'*elevazione media del luogo* da quelle di parecchi anni come per la temperatura (§. 1667), ed inoltre l'*elevazione media barometrica delle stagioni* come pel calore (§. 1669), Venerio, nel periodo di 40 anni ad Udine, ha trovato che la media delle elevazioni al levare del sole di mm. 753,43 coincide quasi esattamente colla media mm. 753,39 desunta dalle massime e da una minima della giornata *Le ore delle osservazioni vanno dunque riformate nella maggior parte delle specole italiane e straniere*, quando si voglia raggiungere la vera media giornaliera e da essa tutte le altre

Il passaggio dalla massima alla minima elevazione non succede per salti repentini. Infatti, passando dal massimo al minimo e viceversa, la colonna barometrica rimane prima stazionaria per quindici e più minuti, e posria impiega circa 6 ore a percorrere nelle nostre latitudini mm. 0,90, ossia mm. 0,15 per ogni ora. Se in un'ora v'ha un cambiamento d'elevazione che non giunge a 2 decimi di millimetro, non s'incorrerà in errori sensibili quando nelle ore stabilite, per cogliere i punti massimi e minimi, siavi la diversità di qualche frazione d'ora. *Per le osservazioni, necessarie alla valutazione della media giornaliera del barometro, si possono dunque definitivamente ritenere le ore 4 e le 10 nell'inverno, o le 5 e le 11 nelle altre tre stagioni in riguardo al mattino; mentre alla sera le 3 e le 10 nell'inverno, le 4 e le 11 nella primavera, e nelle altre due stagioni le 4 e le 10.* La prima osservazione del mattino riuscirebbe molto incomoda e faticosa, continuata quotidianamente per un gran numero d'anni da una sola persona. In tal caso si potranno le osservazioni ridurre alle tre ultime *prendendo la media delle due elevazioni massime, del mattino e della sera, e poscia la semisomma di questa media e della minima della sera, con cui si avrà l'elevazione media giornaliera.*

La pressione atmosferica nel corso della giornata manifesta due massimi e due minimi al barometro, mentre il calore dà indizio al termometro d'un solo massimo e d'un solo minimo (§ 1663) Ecco il motivo per cui allo stabilimento della media termometrica giornaliera bastano due sole osservazioni (§. 1665), richiedendosene quattro, come si disse, allo stabilimento della barometrica quando si voglia la maggiore precisione. Che se non si avesse nè tempo nè comodità d'istituire la prima osservazione, si prestano con abbastanza esattezza i due massimi, l'uno del mattino e l'altro della sera, combinati col minimo della sera nella maniera indicata. Aggiungiamo eziandio, che a tale scopo servono approssimativamente, in man-

canza d'ogni altro dato, il massimo ed il minimo del mattino, oppure quelli della sera.

Per qual ragione in nessuno stabilimento meteorologico si prendano le elevazioni massime e minime col barometrografo (§ 647), come si fa per la temperatura (§ 1665)? Operando in tal guisa si avrebbero, è vero, le quattro pressioni estreme, massime e minime, senza incomodo dell'osservatore; ma i barometrografi, composti di leve, di ruote dentate e simili, darebbero dei risultati incerti, che potrebbero differire di alcuni millimetri dalle pressioni reali, mentre col barometro munito di nonio si ottengono all'esattezza d'un decimo ed anche d'un centesimo di millimetro. La precisione è tanto più necessaria in quanto che la differenza, fra l'ascensione e la depressione estreme, è come si disse piccolissima, riducendosi a qualche millimetro, ed ha d'uopo del nonio per stabilirla; mentre la variazione di calore durante l'intero giorno si eleva a parecchi gradi.

In qualche specola dell'Inghilterra si adopera come mezzo grafico, per le osservazioni barometriche e termometriche, la *carta sensibile* preparata colle materie usate nella fotografia (§§. 885 e 959). Si colloca la carta di dietro al tubo dello strumento, la cui colonna mercuriale, a misura che s'innalza o che s'abbassa, ne difende dalla luce parti più o meno elevate, ed impedisce così che subiscano un cambiamento di colore. La carta comunica con un congegno di orologeria, per mezzo del quale è mossa uniformemente ed è obbligata a passare successivamente per tutta la sua lunghezza al di sotto del tubo. In tal guisa è descritta sulla carta una curva, che la separa in due parti longitudinali, l'una che ha subito l'azione della luce e l'altra che ne è rimasta illesa. La curva rappresenta le variazioni in altezza della colonna mercuriale in virtù del calore o della pressione atmosferica. Questo metodo grafico, a malgrado che possa riuscire utile in alcuni casi, non somministra che misure incerte ed inesatte delle ascensioni e depressioni barometriche.

1691. Affine di mettere a confronto la pressione atmosferica di parecchi luoghi e vedere se varia colla latitudine, bisogna ridurla in ciascuno al livello del mare, sapendosi che la colonna barometrica s'abbassa a misura che s'eleva sul suolo (§. 640). A tale riduzione serve la regola data per ritrovare l'altezza del luogo (§. 649), la quale in questo caso è nota, essendo invece incognita l'elevazione del mercurio nel barometro alla stazione inferiore. Sia pertanto m l'altezza conosciuta sul livello del mare ed x i millimetri da aggiungersi alla pressione per riferirla al livello medesimo: è chiaro

che si avrà l'equazione $10,5x+(0,15+0,15x)\frac{x}{2}=m$, donde si ricava $x=\frac{-141\sqrt{19881+\frac{8m}{0,15}}}{2}$. Facciamone un'applicazione: a Torino, secondo Vassalli, la pressione media eguaglia mm. 740,94, essendo il barometro collocato all'altezza di 44^m,83 sul piano della contrada della R. Accademia delle scienze e di 300^m,15 sul livello del mare, per cui risulta $m=300^m,15$. Sostituendo questo valore, si ha da aggiungere a mm. 740,94 il numero di millimetri

$$x=\frac{-141+\sqrt{19881+16008}}{2}$$

ossia $x=24$, per cui la pressione media di Torino ridotta al livello del mare risulterebbe di mm 764,94.

Nel seguente quadro riportiamo le elevazioni medie del barometro di parecchie città d'Italia, aggiungendo in una colonna le corrispondenti al livello del mare. La pressione d'Udine è stata presa da Venerio a 12°,5 c., e quella di Napoli da Capocci a 15°, che abbiamo ridotto allo zero unitamente alle altre di Torino e di Bologna (§ 1686), le cui pressioni furono lasciate dagli osservatori alla temperatura dei rispettivi luoghi (1). La riduzione di quelle delle ultime due città è stata fatta sulle temperature medie rispettive (§. 1668). Alla pressione media di ciascun luogo aggiungiamo le estreme assolute occorse nel periodo delle osservazioni, meno a Palermo che si riferiscono al 1814 fuori del periodo.

(1) La temperatura del mercurio si desume dall'indicazione del termometro incassato nell'ossettatura del barometro, su di che può leggersi alcune considerazioni di Villeneuve negli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. x, pag. 59. Il barometro, del Comitato della Società R. di Londra per la meteorologia, ha il bulbo del termometro che pesca nel mercurio del pozzetto

LUOGHI E PERIODI	LATITUDINE	ALTEZZA sul mare	PRESSIONI MEDIE		PRESSIONI ESTREME	
			Nel luogo	Al livello del mare	Massima	Minima
Udine (1803-1842) . .	46°. 4'	100^{m},30	731^{mm},69	7 61^{mm},38	775^{mm},09 (febb.)	720^{mm},69 (febb.)
Milano (1763-1816). . .	45. 28.	147,11	750,03	762,79	774,50 (febb.)	747,38 (febb.)
Torino (1787-1816). .	45. 4.	300,15	739,38	765,35	758,62 (febb.)	708,03 (22 genn.)
Bologna (1813 1822) . .	44 30.	85,50	750,32	757,99	772,79 (febb.)	724,19 (3 marzo)
Genova (1833-1842) . .	44. 25	48,60	756,62	761,02	775,66 (febb.)	727,28 (febb.)
Firenze (1821-1840) . . .	43. 47.	66,05	750,29	756,33	775,78 (febb.)	724,12 (febb.)
Siena (1839-1848) . . .	43. 18	348,00	731,17	758,70	747,82 (febb.)	707,07 (febb.)
Napoli (1833-1844). . .	40. 52.	147,00	750,28	765,03	769,91 (febb.)	721,74 (febb.)
Palermo (1782-1842) . . .	38. 6.	74,50	755,54	761,56	766,55 (dic.)	749,49 (giugno)

Affine di rendere comparabili sotto ogni rapporto le pressioni medie al livello del mare, si richiederebbe la correzione della gravità (§. 642); la quale si calcola colla formola apposita (§. 402). Essa ascende soltanto a qualche frazione di millimetro e riesce inapprezzabile nel confronto di luoghi, le cui latitudini differiscono fra loro di qualche grado. L'umidità inoltre aumenta la tensione dell'aria e quindi la pressione atmosferica. In alcune indagini delicate di meteorologia comparata importa di correggerne le pressioni della parte dovuta ai vapori secondo i principii esposti (§. 622); ma sfortunatamente non si posseggono osservazioni igrometriche abbastanza esatte per tale correzione.

1692. Si è creduto per lungo tempo che la media pressione atmosferica fosse la medesima alle diverse latitudini. Le osservazioni, che s'istituiscono regolarmente in quasi tutte le specole d'Italia, d'Europa, d'America ecc., non valgono a sciogliere la quistione, non seguendosi in esse un piano uniforme nelle osservazioni, ed essendosi d'altronde stabilite per le medesime delle ore, che non colgono le 4 pressioni estreme e non conducono per conseguenza alle vere medie barometriche dei luoghi (§. 1690). La media pressione ad Udine è, come si disse, la meglio calcolata di quelle delle notate città, e tutte le altre si discostano più o meno dal vero. A Milano si fanno le osservazioni tre volte al giorno, alle 9 mattina, al mezzodì ed alle 3 di sera; a Torino, sotto la direzione di Vassalli, si osservava al levar del sole, a mezzodì ed al tramonto, ed attualmente alle 9 mattina, a mezzodì ed alle 3 di sera; a Bologna quattro volte, cioè alle 8 mattina, a mezzodì, alle 4 ed alle 8 sera, a Genova invece le quattro osservazioni sono alle 9 mattina, a mezzodì, alle ore 3 e 9 sera, a Firenze ed a Siena egualmente come a Bologna; a Napoli tre volte, alle 9 mattina, al mezzodì ed alle 3 sera; a Palermo quattro volte, a mezz'ora dopo levato il sole, a mezzodì, a mezz'ora dopo il tramonto e verso la mezzanotte. Fuori d'Italia si sono scelte pure delle ore, in cui d'ordinario non cadono i massimi ed i minimi dell'oscillazione diurna da cui dipende la vera pressione media. A Parigi, p. e., si osserva il barometro quattro volte al giorno, alle 9 mattina, a mezzodì, alle 3 ed alle 9 sera. Generalmente la media pressione si valuta da quelle osservate nelle suindicate ore, il che conduce a risultati erronei. Infatti, durante alcuni mesi dell'anno, parecchie di quelle osservazioni comprendono i due massimi ed un sol minimo dell'oscillazione diurna, dai quali si ha la media prendendo, come si disse, la semisomma della media dei due massimi aggiunta al minimo

(§. 1690), e non la media di tutte tre le osservazioni, che somministra un risultato molto diverso. Infatti sia, per es., il massimo del mattino mm. 758,4 e quello della sera mm. 758,6: la loro media è di mm. 758,5, che sommata col minimo di mm. 754,7 e presa la metà del risultato si ha per la vera media mm. 756,6, molto differente dalla media mm. 757,2 dedotta da tutte tre le osservazioni sommate assieme. *Le ore dunque*, lo ripetiamo, *delle osservazioni barometriche devono essere cambiate in quasi tutte le specole meteorologiche d'Italia, d'Europa e d'altre parti del globo*. Non vale la ragione, comunemente addotta, che il cambiamento dell'orario metterebbe fuori d'uso le precedenti osservazioni, giacchè queste riescono già inutili alla meteorologia comparata, e servono al più a mostrare in modo inesatto il corso della pressione atmosferica per quel luogo, dove vennero istituite.

Per iscioghere la questione dell'influenza della latitudine sulla pressione atmosferica, si sono istituite apposite osservazioni, che non sono abbastanza numerose e variate per deciderla. Erman, Forbes, Kaemtz, Herschel, Bouward, Muncke ed altri hanno posto a confronto le pressioni medie di parecchi luoghi credute le migliori, fra le quali quelle di Chiminello a Padova. Le rappresentarono ben anche con formole, ed i risultati del calcolo si paragonarono con quelli dell'osservazione (1), che bisognerebbe ammettere come giusti e sicuri per ritenere buona la formola. Erman ha fatto di più, avendo riconosciuto dalle proprie osservazioni, istituite sul mare in quattro viaggi intorno al mondo, che la pressione atmosferica varia realmente colla latitudine, il che venne confermato anche da Herschel nel suo viaggio al Capo di Buona Speranza. Da tutto ciò si ricava che, dal 60° latitudine sud, la pressione media va sensibilmente aumentando sino a 25° pure sud, vale a dire sino al limite dei venti alisei (§. 1678). Da tal punto sino all'equatore decresce, ove giunge al minimo, che si valuta poco più di mm. 758, e che per la zona dei tropici sarebbe stabilito da Humboldt di mm. 758,39. Progredendo dall'equatore verso il polo boreale, la pressione cresce di nuovo sino al limite degli alisei nel nostro emisfero, dove ritorna a decrescere nello stesso modo dell'emisfero australe. La media barometrica poi al livello del mare sembra doversi ritenere di mm. 761,35, che Oriani, per le nostre latitudini, ha valutato di mm. 761,12 ed Arago di mm. 760,85, e che verso i 50° si ridurrebbe a mm. 760, donde diminuirebbe andando

(1) *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. VI, pag. 1894 e 1930.

verso il polo per giungere ad un minimo, inferiore forse a quello dell'equatore. Aggiungiamo altresì che qualche fisico ha intravveduto non essere costante lo stato barometrico medio nello stesso luogo, e che, secondo Flaugergues, la pressione atmosferica vada continuamente aumentando.

1693. La pressione atmosferica *varia anche secondo le stagioni*, essendo massima nell'inverno e minima nell'estate. Le cifre del precedente prospetto ci avvertono di già che la massima e la minima elevazione del barometro, in un periodo d'anni, succedono d'ordinario in febbraio. Dalle osservazioni del quarantennio di Venerio in Udine apparisce che le massime e le minime elevazioni dell'anno sono avvenute quasi sempre nell'inverno, e soltanto qualche volta nell'autunno e nella primavera e quasi mai nell'estate. Si apprende altresì dalle medesime che la media delle massime del trimestre iemale è maggiore di quella del trimestre estivo; mentre la media delle minime delle stesse stagioni risulta all'inverso. Nell'autunno poi e nella primavera le medie delle massime pressioni risultano presso che eguali, e maggiore ciascuna di quella dell'estate, e minore dell'altra dell'inverno. Le minime danno pure nell'autunno e nella primavera eguali medie, esprimendo ciascuna una pressione maggiore della iemale e minore dell'estiva. In generale il barometro in quella città ha maggior tendenza ad allontanarsi dalla media generale nei massimi abbassamenti che nei massimi innalzamenti; talchè, se si calcolasse come col termometro (§ 1667) la media annuale coi due estremi avvenuti nel corso dell'anno stesso, essa risulterebbe troppo bassa.

Le medie generali delle quattro stagioni in Udine sono come segue: nell'*inverno* mm. 754,12; nella *primavera* mm. 752,36; nell'*estate* mm. 752,96 e nell'*autunno* mm. 754,03. Si può ritenere in generale, anche da parecchie altre osservazioni, che la media barometrica varia nel corso delle quattro stagioni, riescendo maggiore nell'inverno e nell'autunno con poca differenza in più nella prima, e minore nell'estate e nella primavera spesso con differenza in meno nell'estate medesima. Anzi dalla serie d'alcune osservazioni, non disturbate dalle variazioni accidentali, si scorge che la pressione atmosferica è massima nel mese di gennaio, va successivamente diminuendo negli altri mesi sino in luglio, per ritornare a crescere gradatamente ed a raggiungere il massimo nel gennaio del seguente anno.

1694. L'intervallo percorso dalla colonna mercuriale del barometro e dedotto dalle elevazioni estreme assolute d'alcuni anni, di qual-

che anno o mese, riesce molto più esteso dell'oscillazione diurna (§ 1688). Nel periodo di quarant'anni ad Udine il barometro si è elevato a mm. 775,09 ed è disceso a mm. 720,69; talchè ha percorso lo spazio di mm 54,40 o presso che $^1/_{14}$ dell'elevazione media (§.1691). Si trova nell'egual modo che nel periodo di 34 l'escursione maggiore della colonna barometrica è stata a Milano di mm. 23,92, o circa $^1/_{32}$ dell'altezza media; a Torino nel periodo di 30 anni di $^1/_{15}$; a Bologna ed a Genova nel periodo di 10 anni quasi $^1/_{16}$; a Firenze nel periodo di 20 anni quasi $^1/_{15}$; a Siena nel periodo di 10 anni quasi $^1/_{19}$; a Napoli nel periodo di 12 anni quasi $^1/_{17}$, a Palermo nel solo anno 1844 quasi $^1/_{41}$. Si scorge che a Milano, situato in una vasta pianura distante dai monti, il barometro subisce un'escursione, nelle ascensioni e depressioni, minore che nelle altre città poste in vicinanza o sopra elevati monti. In Palermo riesce ancor più piccola, ma si riferisce ad un sol anno. In Udine invece l'escursione barometrica è stata maggiore che negli altri luoghi, e si noti ch'essa è avvenuta nell'intervallo di due anni, cioè la massima elevazione nel febbraio 1821 e la minima nel febbraio 1823. Le osservazioni istituite in diversi luoghi del globo dimostrano che le escursioni, dedotte dalle elevazioni assolute massima e minima nel corso di alcuni anni, d'un anno o di un mese, aumentano colla latitudine al contrario dell'oscillazione diurna dedotta dalle medesime pressioni che diminuisce (§ 1688).

1693. Qual è la causa delle variazioni della pressione atmosferica, e quindi dei cambiamenti d'altezza della colonna barometrica? Furono emesse sul fenomeno diverse opinioni, la più probabile delle quali sembra quella di Kaemtz (1). Rammentiamo quanto si disse sull'origine dei venti (§. 1080): se il calore fosse uniforme in tutta la superficie del globo e se gli strati aerei avessero l'egual temperatura, l'oceano atmosferico sarebbe in perfetta calma, non nascerebbero correnti, e ad altezze eguali la pressione atmosferica risulterebbe la medesima. Dal momento però che nella regione *mn* si aumenta la temperatura, rimanendo costante nelle adiacenti *me*, *nf* (fig. 516), l'aria in *mn* si dilata, s'innalza e scola nelle parti superiori lateralmente, dando luogo ad una diminuzione di pressione, per cui il barometro s'abbassa. Se invece l'aria in *mn* conserva la sua temperatura,

(1) Si vegga nel *Jahrbücher* di Schumacher dell'anno succitato (§ 1675), la memoria di Kaemtz *Ueber den Zusammenhang zwischen Luftdruck und Windrichtung*, ed inoltre la traduzione francese del *Corso completo di meteorologia* dello stesso Kaemtz, pag. 265

mentre in *me*, *nf* si raffredda, succederà egualmente lo scolo nelle parti superiori e la pressione atmosferica aumenterà in *me*, *nf* dando luogo ad un innalzamento nella colonna barometrica. Nel primo caso dunque all'aumento di temperatura nella regione *mn* succede l'abbassamento del mercurio nel barometro; nel secondo caso alla diminuzione di temperatura nelle regioni *me*, *nf* ne conseguita la depressione della colonna barometrica. Si può quindi esprimere la dipendenza fra la pressione e lo stato termometrico dicendo: *l'abbassamento del barometro in un luogo dipende dall'essere la temperatura del luogo medesimo più elevata di quella delle contrade attigue, tanto per essere stata realmente riscaldata, quanto per essersi raffreddate le contrade vicine; l'innalzamento invece dimostra che l'aria del luogo diventa più fredda di quella dei circostanti.* L'autore appoggia questa legge ad alcuni fatti, i quali sono ancora in pochissimo numero per dimostrarla vera in ogni caso e riconoscere la causa delle anomalie che talvolta si riscontrano. Tuttavolta essa sembra la più plausibile per dar ragione dei moti ascendenti e discendenti, che avvengono nella colonna mercuriale del barometro. Da una tal legge si comprende l'influenza dei venti sull'innalzamento e sull'abbassamento della colonna barometrica.

Kaemtz fa pure dipendere da tal legge l'oscillazione diurna della colonna barometrica, attribuendola all'azione calorifica del sole, come sospettò Bouguer ed ammisero La Place e Ramond. Alcuni fisici intravvidero la causa dell'oscillazione diurna nell'attrazione esercitata dal sole e dalla luna sulla massa dell'aria atmosferica. Gli effetti però dell'attrazione di questi astri riescono così poco sensibili, che svaniscono del tutto, come ha dimostrato Bouward (1) D'altronde i movimenti dell'oscillazione diurna non bene corrispondono alle diverse posizioni della luna, come nel flusso del mare (§. 1652), quantunque Flaugergues deduca da alcune sue osservazioni che il barometro, durante una rivoluzione sinodica di quel satellite, s'alzi regolarmente, e che quest'alzamento a Viviers sia stato da lui valutato di mm. 1,67 (2).

1696. Appena Torricelli ebbe inventato il barometro, che ben tosto lo stesso inventore ed i fisici contemporanei s'accorsero dei cambiamenti d'altezza della colonna mercuriale secondo lo stato atmosferico,

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences de Paris*, t. VII, pag 267

(2) Lefroy ha pure verificato che la luna esercita una lieve influenza sulla pressione atmosferica, come dagli *Annali di fisica* ecc più volte citati, t. X, pag 289, come pure Howard *Annali* t X, pag 272

abbassandosi principalmente durante gli oragani ed altri fenomeni meteorologici. Si è per questi che hanno luogo le *variazioni accidentali*, le quali, come si disse, vanno distinte dalle *orarie* o dall'*oscillazione diurna* (§. 1686) Rammentiamo che gli oragani ed altre meteore consimili sono accompagnate da venti impetuosi (§. 1685), e rammentiamo altresì l'origine dei cambiamenti della colonna mercuriale (§. 1695), che riuscirà agevole comprendere come negli oragani ed in altre meteore della stessa categoria debbono succedere movimenti straordinari della colonna barometrica.

Si asserisce generalmente che per l'aria in movimento si produca minor pressione sulla colonna barometrica dell'aria in calma. Ma in tale asserzione non si considera il fenomeno nella sua generalità, dovendo l'abbassamento del barometro in un punto essere accompagnato dall'innalzamento in altro punto Imperocchè le leggi del moto dell'oceano aereo dipendono dagli stessi principii di quelle dell'oceano acqueo; e bisogna quindi che avvengano nel primo movimenti consimili a quelli del secondo (§ 561), ed a quelli dell'aria stessa nella propagazione del suono (§. 697) Non basta per conseguenza dire che il barometro s'abbassa al sorgere degli oragani, ma è mestieri indagare, con osservazioni contemporanee, quale relazione abbiano nei diversi luoghi i grandi movimenti dell'atmosfera, collegati alle grandi differenze di pressione Le indagini di questa specie sono assai difficili nella loro esecuzione, esigendo che siano estese in parecchi luoghi, onde colle pressioni osservate descrivere delle curve, che rappresenterebbero l'ondulazione atmosferica Scegliendo dei luoghi non molto discosti, si vedrebbero svilupparsi progressivamente i punti *massimo* e *minimo*, e la grandezza dell'elevazione e della depressione dell'onda, per giudicare della direzione e della velocità con cui si propaga. Sfortunatamente le specole non sono nè così numerose nè abbastanza vicine per riconoscere come i movimenti si propagano ed interferiscono. Una volta che fossero bene stabiliti questi sistemi di onde, le osservazioni orarie servirebbero in seguito coi loro risultati a riconoscerne le più minute particolarità. Queste onde riesciranno più grandiose nelle forti agitazioni dell'atmosfera, prodotte dagli impetuosi venti degli oragani, che nell'ordinaria oscillazione diurna. Per avere almeno alcuni dei dati raccolti nello stesso tempo sopra un gran numero di punti della superficie terrestre ed abbastanza moltiplicati durante il tempo delle osservazioni da far conoscere i caratteri dell'ondulazione atmosferica, si è stabilito di comune accordo che in tutte le specole *si facciano delle osservazioni di ora in ora nei sol-*

stizi d'estate e d'inverno, e negli equinozi di primavera e d'autunno I giorni fissati a tali osservazioni orarie sono il 21 marzo, il 21 giugno, il 21 settembre ed il 21 dicembre. L'osservazione incomincia alle 6 del mattino di ciascuno dei detti giorni e termina alle 6 del mattino successivo.

Herschel ha preso in esame le osservazioni istituite in alcune specole dal 1835 al 1838, facendole soggetto d'un rapporto molto interessante comunicato al congresso scientifico (Associazione britannica) tenuto a Cork nel 1843. Esso è in gran parte fondato sui risultamenti raccolti da Birt. Quetelet a Bruxelles si è del pari occupato di simili indagini, mettendo a confronto le pressioni atmosferiche osservate in parecchi luoghi. Espy, agli Stati Uniti d'America, ha pubblicato un primo rapporto sulla meteorologia, nel quale differenti tavole litografate presentano i risultati comparativi d'un gran numero di pressioni che indicano le ondulazioni atmosferiche pei tre primi mesi dell'anno 1843. Affine di estendere le osservazioni barometriche e tutte le altre risguardanti la meteorologia ed il magnetismo terrestre, la R. Società delle scienze di Londra ha formato nel suo seno un comitato speciale, il quale ha pubblicato un'istruzione ed ha contribuito all'erezione di nuove specole in tutti i possedimenti britannici (1). Ad insinuazione dell'imperiale Accademia delle scienze di Pietroborgo, si estesero con ingenti spese le specole meteorologiche nella vastità dell'impero russo, dove s'istituiscono le osservazioni secondo la specola normale innalzata nella stessa capitale della monarchia e posta sotto la direzione di Kuppfer (2). All'Accademia delle scienze di Parigi Arago mostrava l'importanza di simili osservazioni e la convenienza di nuove specole in tutto il territorio della Francia (3). L'Italia fu una delle prime nazioni a riconoscere l'utilità di tali stabilimenti, quando Antinori nel 1839 al Congresso scientifico dei dotti raccolti in Pisa leggeva una memoria diretta ad uniformare ed estendere le osservazioni di fisica atmosferica e terrestre in tutta la nostra penisola (4). Melloni, Matteucci e Maiocchi componevano la Commissione che doveva redigere e proporre ad uno dei successivi congressi il piano per tal sorta d'indagini (5), ed a cui gli avvenimenti politici accaduti dappoi, impedirono di mandarlo ad effetto.

(1) *Annali di fisica*, ecc. più volte citati, t. II, pag. 24.
(2) I medesimi *Annali*, t. I, pag. 180.
(3) Gli stessi *Annali*, t. IV, pag. 188.
(4) I detti *Annali*, t. I, pag. 180 e t. XIII, pag. 291 e 294.
(5) I citati *Annali*, t. XI, pag. 89, ed *Atti della quinta riunione degli scienziati italiani*, Lucca 1844, pag. 453.

All'attuazione di tali desiderii ed alla realizzazione di così utili progetti si oppone ovunque il grande ostacolo della spesa, a togliere il quale mi suggerì alla mente la felice idea, che io proponeva nel marzo 1851 al Governo di questo regno italiano, e che mentre scrivo si mette in esecuzione sulla linea da Torino a Genova, costruendosi gli stromenti e disponendosi gli apparati a tale scopo necessari. Le specole meteorologiche nelle città e nelle borgate devono essere poste sopra case elevate per sottrarle all'influenza dei circostanti fabbricati, e se si costruiscono appositamente in luoghi aperti ed isolati si richiede maggiore dispendio per erigerle dai fondamenti, quantunque non sia bisogno di elevarle in tal caso a grande altezza. Alla spesa di primitiva costruzione, già abbastanza considerabile, si deve aggiungere l'altra rilevante dello stipendio annuo a due individui almeno per ognuna delle medesime, d'un osservatore cioè e d'un suo aiutante. Ora pensai che le stazioni delle strade ferrate offrono nei fabbricati tutte le condizioni d'una specola meteorologica. Lungo la linea di quelle vie trovansi addette molte persone, alcune delle quali dotate delle cognizioni necessarie alle osservazioni meteorologiche ed altre fornite dei voluti requisiti per essere di sussidio alle prime. Infatti gl'ingegneri coi loro aiutanti ed assistenti, gli ufficiali ai telegrafi, i capi-stazione ed altre persone formano una numerosa categoria d'uomini molto proprii per mandar ad effetto sopra una grande estensione della superficie del globo le anzidette osservazioni. Le specole dunque col personale necessario sarebbero già disposte lungo le ferrovie, e non resterebbe che la spesa insignificante in riguardo alle altre, dell'acquisto cioè degli stromenti e degli apparati meteorologici.

Riteniamo che quest'idea, quando sarà venuta a cognizione d'Espy in America, d'Herschel e Birt in Inghilterra, di Kuppfer in Russia, di Humboldt e Kaemtz in Germania, d'Arago ed altri dotti in Francia, di Quetelet nel Belgio e di parecchi amanti della meteorologia in Italia ed in altri paesi del globo; quest'idea, diceva, sarà accolta con favore, suggerendo essa i mezzi di attuare ben tosto e con insignificante spesa un piano uniforme d'osservazioni contemporanee su migliaia e migliaia di chilometri della superficie terrestre per lo scioglimento di parecchie quistioni di meteorologia comparata e pel compimento di altre appena abbozzate o rimaste sospese in causa di deficienza dei dati voluti e delle necessarie cognizioni.

1097. La pressione atmosferica e quindi l'elevazione barometrica dipende dunque da correnti d'aria ascendenti, che nascono nelle regioni vicine o nello stesso luogo dove si esercita. Ecco come si sono

compilate da qualche fisico *le rose dei venti barometrici*, vale a dire il quadro dei venti colle elevazioni corrispondenti del barometro. Quest'elevazione può differire per lo stesso vento da l'uno all'altro paese; ma nell'Europa continentale d'ordinario ai medesimi venti corrispondono le altezze massime o minime del mercurio. Dalle osservazioni infatti di 40 anni di Venerio ad Udine e da quelle di 12 di Capocci a Napoli risulta che ai venti, compresi tra il N. e l'E., corrispondono le maggiori elevazioni della colonna mercuriale, ed a quelli meridionali le minori. Lo stesso si conferma a Parigi, a Berlino, a Mosca ed anche a Londra secondo Kaemtz. Si ammette altresì, per l'Europa almeno, che, *quando i venti sono boreali e soffiano dall'interno dei continenti, il barometro tocca le maggiori elevazioni, e giunge alle elevazioni più basse quando i venti spirano dall'equatore o dal mare* Per riconoscere però la giusta relazione del movimento della colonna mercuriale coi venti, si richiederebbero, nelle diverse ore del giorno, osservazioni più frequenti del barometro e dell'anemoscopio, continuate nei diversi luoghi per qualche anno. Allora soltanto si giungerà a decidere asseverantemente se al cambiar dee vento nello stesso paese cambi l'elevazione barometrica.

Le variazioni accidentali del barometro sono intimamente collegate alla temperatura, dipendendo da questa i movimenti dell'atmosfera. Nell'estate la temperatura media decresce meno rapidamente colla latitudine che nell'inverno, e quindi nella prima stagione riescono minori le differenze di pressione atmosferica che nella seconda. Per la stessa ragione le variazioni accidentali riescono meno sensibili all'equatore dove i cambiamenti di temperatura sono di poca entità, per cui colla latitudine aumenta l'intervallo descritto dalla colonna mercuriale (§ 1604). Fra i tropici infatti i venti alisei mantengono colla loro circolazione un calore uniforme rimanendo il termometro presso che stazionario, mentre alle maggiori latitudini i cambiamenti nella direzione dei venti sono repentini in causa di simili cambiamenti nella temperatura, e ne conseguitano variazioni corrispondenti nel barometro Si sono eziandio riuniti i paesi d'egual amplitudine barometrica mensuale, formandone le *linee isobarometriche*, le quali intersecano i meridiani geografici sotto differenti angoli.

1698. I terremoti sono talvolta annunziati, come le eruzioni vulcaniche, da un abbassamento straordinario del barometro, e qualche altra la colonna mercuriale non subisce verun repentino cambiamento. Nel primo caso il fenomeno è accompagnato da venti impetuosi prodotti da esalazioni uscenti con gran forza dalle fenditure della terra,

e nel secondo l'atmosfera conserva il suo stato ordinario (§. 1640). Vassalli infatti ha osservato che durante il terremoto, il quale per parecchi mesi danneggiò le valli del Pelice, del Chisone e del Po al mezzodì di Torino, il barometro si è mantenuto ora più alto ed ora più basso del suo stato medio, come era avvenuto antecedentemente nel terremoto d'Alba (1).

Multedo ha presentato due memorie di meteorologia all'Istituto Ligure nel 1802 e nel 1805, nelle quali prende in esame le proprie osservazioni e quelle fatte in Genova anteriormente dal dicem. 1782 a tutto il 1796. Nell'ultima di esse principalmente dimostra l'influenza che la pressione atmosferica esercita sull'agitazione del mare. Il fenomeno, scoperto dal fisico italiano, fu verificato molto più tardi dal francese Daussy con osservazioni istituite a Brest ed a Lorient (2). Risulta pertanto che, abbassandosi il mercurio nel barometro cioè diminuendo la pressione atmosferica, il livello del mare s'innalza e viceversa. L'agitazione delle acque del mare, prodotta dai venti (§. 1685), può essere dunque diminuita od accresciuta dalla pressione atmosferica più o meno grande.

Vi sono dei fenomeni consimili osservati sino prima della metà del trascorso secolo, che devono essere attribuiti egualmente alla diminuzione della pressione atmosferica, quantunque non siasi notato nello stesso tempo il barometro. Imperocchè gli oragani, da cui furono accompagnati, portano con sè un abbassamento notabile nella colonna mercuriale. Davini, scriveva al celebre Vallisnieri, d'aver osservato in vicinanza di Modena, una fontana, le cui acque, sempre limpide a ciel sereno, s'intorbidavano quando si annuvolava. Vallisnieri, riferendo questo fenomeno, aggiungeva, come risultato delle proprie osservazioni, che le solfatare indicavano l'oragano con una specie d'ebollizione accompagnata da rumori. Toaldo ha annunziato altresì che, nelle colline del Vicentino, a poca distanza dalla chiesa di Molvena, esiste una fontana, chiamata Bifoccio, della quale al sorgere d'un oragano, crescono le acque, traboccano ben anche dopo una lunga siccità, e torbide si spandono nelle vicine valli. Racconta altresì che, a circa 3 chilometri dalla sorgente di Bifoccio vicino alla chiesa di Villaraspa nel cortilo di Giuseppe Pigati di Vicenza, vi ha un profondo pozzo, le cui acque bollono al sorgere d'un oragano (3).

(1) *Memorie della Società Italiana delle scienze*. Verona 1808, t. XIV.

(2) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. III, pag. 136. 1836.

(3) Questi fenomeni sono anche riferiti dal cel. Arago nell'Annuario del 1838. Parigi 1837, pag. 559.

Altri fenomeni hanno pure origine dalla diminuzione della pressione atmosferica. Brugnatelli, nel suo *Giornale di fisica ecc.*, racconta che le acque del lago Massaciuccoli nel territorio di Lucca, il giorno 19 luglio 1824, divennero lattiginose in conseguenza di un oragano. Questo stato durava ancora nel susseguente giorno 20, e molti pesci si trovarono morti e spinti dall'agitazione delle acque sulla riva. Il celebre Beccaria fa pure menzione dell'innondazione subitanea avvenuta nell'ottobre 1755, la quale fu cagione di grandi danni in molte valli del Piemonte. Il fiume Po è straripato, e il disastro fu preceduto da un oragano, avendo per causa principale un immenso volume d'acqua sotterranea che tutto ad un tratto usci per nuove aperture dal seno dei monti. Questi fenomeni sono analoghi all'aria che esce dai sotterranei (§ 1677) e dai pori dei corpi (§. 598) per la diminuzione della pressione atmosferica.

1699. La pioggia altera l'equilibrio atmosferico, e ne diminuisce ordinariamente la pressione, come dimostreremo. Per la relazione quindi colla pioggia e con altri fenomeni suddescritti, *il barometro è ritenuto uno strumento meteorologico*. Torricelli aveva già notato che il barometro era basso all'approssimarsi della pioggia. Essendo stata verificata una tale coincidenza dagli osservatori venuti dappoi, si ammise come positivo che l'innalzamento della colonna barometrica sia segno di bel tempo e l'abbassamento di pioggia. Abitando noi sulla superficie della terra, sappiamo nulla di ciò che accade nelle alte regioni dell'atmosfera: osserviamo dei cangiamenti di temperatura, ora periodici, ora subitanei ed inattesi; osserviamo dei venti, degli oragani, e possiamo giudicare delle variazioni atmosferiche soltanto sino all'altezza, a cui l'agitazione delle nubi ci permette l'osservazione. Col mezzo del barometro siamo però avvertiti di quanto accade in tutta l'altezza dell'atmosfera; giacchè esso ad ogni istante fa conoscere il peso della colonna d'aria che ci sovrasta, e con esattezza tale come se questa fosse in equilibrio sulla bilancia. Una causa sì potente esercita necessariamente un'influenza sulle funzioni fisiologiche, sui fenomeni della respirazione e della circolazione; ma questi effetti sono così complicati, che per essere messi in evidenza si richiede un gran numero d'esperienze ed osservazioni. Ecco quanto si conosce riguardo al barometro sotto il lato del bello e del cattivo tempo:

I. Essendo il tempo sereno e tranquillo, l'abbassamento del mercurio nel barometro indica pioggia o vento; II. Quando il tempo è costante e bello, la colonna barometrica è alta. III. L'ascensione

o l'abbassamento rapido del mercurio, cioè di 5 e più millimetri nell'intervallo d'un'ora, è quasi certo indizio di cambiamento di tempo. iv. Quando piove senza che la colonna del barometro si abbassi, la pioggia è di breve durata. v. Alcuni dei grandi fenomeni meteorologici sono annunziati da un subitaneo cangiamento nell'altezza del mercurio.

Il barometro non dà nè più nè meno che la misura della pressione atmosferica, e la colonna mercuriale sale o discende secondo che questa aumenta o diminuisce. Gl'innalzamenti e gli abbassamenti sovente coincidono bensì col bello e col cattivo tempo, senza però ripeterne la causa immediata, dipendendo tale coincidenza dalla posizione particolare d'Europa. Qual valore hanno dunque tali indicazioni?

Dalle osservazioni barometriche continuate assiduamente pel corso di 12 anni a Padova, Poleni ha trovato, che di 1000 indicazioni, soltanto 643 si sono avverate, e che delle 1113 pioggie cadute in quel periodo di tempo, sole 758 fecero discendere il mercurio nel barometro. Può inoltre accadere, come ha riscontrato Para, che la maggior elevazione del mercurio sia seguita dal cattivo tempo e la minore accompagnata da bel tempo, mentre la media mostri indizio indifferente di bello e di cattivo tempo. Nei 10 anni d'osservazioni instituite a Siena, Piantgiani riscontrò 822 giorni piovosi, di cui 618 corrisposero ad elevazioni barometriche al di sotto della media del mezzodì di mm 731,17, vale a dire che si ebbero 3 pioggie indicate dal barometro sopra 4. Risulta inoltre per la detta città che il febbraio ha più d'ogni altro mese corrisposto all'indicazione della pioggia secondo il barometro, ed il gennaio il meno di tutti. I numeri delle indicazioni non corrispondenti dei detti due mesi sono 6 e 26. Vassalli, nei *Risultati delle osservazioni fatte alla R. Accademia di Torino*, pag. 17, riferisce che, nel periodo di 10 anni, sopra 20 delle più grandi elevazioni barometriche, 11 sole corrisposero al ciel sereno. Scoresby assicura che nei suoi viaggi di mare 17 tempeste sopra 18 gli furono predette dal barometro. Kaemtz infine dalle sue osservazioni ha dedotto che si deve temere un vento impetuoso, principalmente in inverno, quando il termometro segna una temperatura elevata ed il barometro rapidamente s'abbassa. Alla comparsa di questi indizi ha trovato sovente che, quando la bufera non era violenta ad Halla, il temporale però aveva imperversato in altre parti della Germania e dell'Europa.

1700. L'alterazione dell'equilibrio atmosferico, prodotta dalla pioggia, si faceva dipendere per lo innanzi dalla diminuzione di peso specifico dell'aria inumidita dalla pioggia medesima, e se ne deduceva per conseguenza l'abbassamento del barometro nei tempi piovosi. È bensì vero che, a tensione eguale, un volume d'aria umida pesa meno d'eguale volume d'aria secca (§. 1677); ma, allorchè l'acqua evapora tranquillamente all'aria libera, i vapori ascendono attraverso gl'interstizi delle molecole aeree senza avere influenza col loro peso e colla loro elasticità sul movimento dell'aria. La pressione atmosferica verrebbe soltanto accresciuta del peso del vapore acqueo. A pari circostanze dunque la colonna barometrica dovrebbe elevarsi nei tempi di pioggia ed abbassarsi in quelli di siccità. L'osservazione però è contraria a tale deduzione, trovandosi che, pel vento carico di vapori, il mercurio nel barometro è meno alto. Si rifletta però che i venti S.O, apportatori di pioggia, sono altresì più caldi degli altri: essi tendono quindi ad innalzare la colonna barometrica per la pressione dei vapori, ma d'altra parte sono diretti ad abbassarla per la loro temperatura (§. 1695). Essendo quest'ultima causa più energica dell'altra, la pressione atmosferica diminuisce, e si è per la loro temperatura che i venti di mare fanno abbassare il barometro nei climi d'Europa. Sulle coste dell'Australia invece, i venti secchi lo fanno abbassare avendo essi una grande temperatura, come ha riscontrato Peron. Alla foce della Plata inoltre il barometro si mantiene più elevato pei venti orientali di mare che per quelli occidentali, che soffiano dal continente.

Queste riflessioni dimostrano che la causa dell'abbassamento del barometro, durante le pioggie in Europa, è subordinata alla legge generale dei movimenti del mercurio in quello stromento (§. 1695), e spiegano altresì le anomalie delle regole ammesse dai meteorologisti considerando lo strumento come prognostico.

1701. I fabbricatori di barometri ad uso della meteorologia sogliono applicare, verso le parti superiori della scala divisa in millimetri oppure in pollici e linee del piede di Parigi, le indicazioni dello stato atmosferico corrispondenti alle diverse altezze, che prende la colonna mercuriale. Ecco le altezze colle denominazioni dello stato atmosferico.

Siccità	millim.	772.	poll.	28. 6.
Sereno costante	»	763.	»	28. 3.
Sereno	»	758.	»	28. »

Variabile	millim. 751.	poll. 27. 9.
Pioggia o vento. . . .	» 744.	» 27. 0.
Gran pioggia	» 737.	» 27. 3.
Oragano o procella . . .	» 730.	» 27. ».

Quand'anche le altezze del barometro s'accordassero sempre coi fenomeni meteorici contrapposti, non sarebbero però valevoli che pei luoghi situati a 20 in 25 metri sul livello del mare. Imperocchè si sa che la colonna barometrica prende un'altezza tanto più bassa quanto più lo strumento è elevato sul livello medesimo (§ 649). È necessario perciò di *rendere mobile la laminetta* delle indicazioni dello stato atmosferico, affine di farla scorrere lungo la scala e *portarne l'annotazione* sereno *di contro alla media barometrica del luogo*, dove lo strumento si è disposto per servirsene come strumento meteorologico. Pei luoghi elevati di 20 in 25 metri sul livello del mare la media barometrica è di mm. 758 o di pollici 28 (§. 1692). Siena dunque, Torino, Milano ecc., che sono molto più elevate, hanno la media barometrica minore di mm. 758 (§ 1691), per cui bisognerà disporre la *laminetta mobile* coll'indicazione *sereno* di contro al numero, che nota l'altezza media in ciascuna di quelle città. A Torino per es., l'altezza media della colonna mercuriale si può ritenere di mm. 740 pel barometro collocato al primo piano d'una casa della contrada della R. Accademia delle scienze; per cui, chi volesse disporre lo strumento come prognostico del bello e del cattivo tempo, dovrà fare scorrere la laminetta mobile coll'indicazione *sereno* di contro alla divisione mm. 740 della scala. Allorchè non fosse nota la media barometrica del luogo, bisognerebbe almeno saperne l'elevazione sul livello del mare; giacchè, colla formola data (§ 1691), sarà facile di rinvenire la media altezza del mercurio nello strumento desunta da quella di mm. 760 al livello del mare.

Poniamo che si voglia far uso del barometro come prognostico nella casa cantoniera costrutta sul giogo di Stelvio, che è il punto carrozzabile più alto d'Europa a 2814^m sul livello del mare (§.637): le indicazioni apposte a quei numeri a nulla servirebbero, oscillando la colonna mercuriale in un intervallo molto più basso. Bisogna per ciò rinvenire la media barometrica del giogo di Stelvio, ossia determinare il numero x di millim. da sottrarsi da 760 media al livello del mare. Nella formola succitata, si sostituisce 2814^m ad m e si ha: $10{,}5.x+(0{,}15+0{,}15x)\frac{x}{2}=2814$, da cui si de-

duca $x=32,5$. L'indicazione *sereno* della laminetta si dovrà dunque mettere di contro alla divisione della scala 760—32,5, ossia di contro a 727,5. Si procede egualmente per tutti quei luoghi, di cui non è nota la media barometrica e soltanto la loro altezza sul livello del mare.

1702. Le indicazioni barometriche riusciranno più sicure, quando si consultino i venti che contemporaneamente soffiano. Da tali osservazioni, fatte nei giorni piovosi a Berlino, De Buch ha rinvenuto che, durante la pioggia, il barometro segna altezze minori di quelle che accompagnano i venti medesimi. Ne risulta quindi che è indizio di pioggia continua allorchè il barometro si mantiene al di sotto dell'altezza corrispondente al vento. Parlando della formazione della pioggia, vedremo che i venti di S. e di S.O. ne sono d'ordinario apportatori, per cui, quando essi persistono a soffiare, il barometro s'abbassa sempre più e il tempo piovoso continua. I venti settentrionali, incominciando a soffiare, fanno ascendere il barometro e, mescolandosi coi meridionali precedenti, determinano bensì la precipitazione dei vapori in pioggia, ma ben presto sgombrano l'atmosfera dai vapori e ritorna il bel tempo.

Dell'influenza dei venti in relazione col barometro si è occupato Dove, il quale ha rinvenuto che in Europa il vapore acqueo è più abbondante nei venti d'O che in quelli d'E, e che la pioggia dipende dall'alternativa del vento umido e del secco. Il rivolgimento del vento N verso quello d'O e del S verso l'E fa sì che all'ovest si avrà un miscuglio subitaneo d'aria per la grande differenza di temperatura dei due venti, mentre all'est la successione dell'uno all'altro vento accadrà con lentezza per la loro minore differenza di calore. È per tal motivo che fra il sud e l'ovest si ha più di frequente la pioggia che fra il nord e l'est. In inverno le temperature dei venti differiscono di più che nell'estate, per cui si ha maggior quantità di pioggia nella prima che nella seconda stagione, con una rotazione più rapida di venti. La pioggia continua non è una condensazione unica, ma la ripetizione frequente dello stesso fenomeno, che è indicata dai cambiamenti della banderuola rivolta ora all'ovest ed ora al sud-ovest ed accompagnata dalla continua oscillazione del barometro. Analizzando le osservazioni delle altezze della colonna mercuriale in corrispondenza coi venti durante la pioggia, Kaemtz è giunto ai medesimi risultati di Dove.

Dalle osservazioni di Dove risulta altresì che la neve, accompagnata dall'abbassamento del barometro, si trasforma in pioggia.

perchè ai venti settentrionali succedono quelli meridionali: la pioggia invece coll'innalzamento della colonna mercuriale si cambia in neve per la prevalenza dei venti settentrionali sui meridionali, e quindi ne segue un freddo più rigido. Ne risulta altresì che quando sopravviene un gran freddo non nevica, dominando allora i venti settentrionali, che fanno scomparire ogni eccesso di vapore nell'atmosfera. La temperatura, costantemente elevata dopo la pioggia, è indizio di nuove pioggie, dipendendo essa dal predominio dei venti meridionali. La grande depressione del barometro negli uragani e nelle procelle dipende dalla costanza dei venti meridionali. Nel giorno 24 dicembre 1821 uno straordinario abbassamento del mercurio annunziò la tempesta, che danneggiò molte navi e parecchi vascelli nel porto di Genova ed in altri porti del Mediterraneo, e l'indicazione barometrica si manifestò in parecchi punti d'Europa. Il grande abbassamento e le frequenti oscillazioni della colonna mercuriale sono indizio di perturbazioni atmosferiche e della lotta di venti opposti che prevalgono alternativamente l'uno sull'altro. Per giudicare preventivamente dello stato, che prenderà l'atmosfera pel movimento del mercurio nel barometro in un luogo, bisognerebbe conoscere somiglianti movimenti in altri luoghi, con cui si deduce anche l'oscillazione, che avviene sopra una grande estensione terrestre (§. 1696).

Nel trascorso secolo Toaldo (1), e nel presente Cotte (2), Vassalli (3) ed Howard (4) hanno cercato di dimostrare che vi ha un periodo meteorologico, il quale corrisponde al periodo lunare. Lartigue pretende pure di riconoscere l'influenza della luna sui fenomeni meteorologici (5), e soprattutto Kreil ha con nuovi fatti e nuove considerazioni richiamata l'attenzione dei fisici intorno all'influenza della luna sugli avvenimenti atmosferici (6).

(1) *Della vera influenza degli astri sulle stagioni e mutazioni di tempo.* Padova 1797, terza edizione.

(2) *Mémoires sur la période lunaire de 19 ans* Paris 1805.

(3) *Annali dell'osservatorio dell'Accademia di Torino*, 1° semestre 1811.

(4) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. v, pag. 271.

(5) *Annali* suddetti, t. III, pag. 172.

(6) L'autore ha pubblicato il risultato delle sue osservazioni e de' suoi studi in tre successivi libri sotto il titolo di *Annuario*, di cui si fa cenno nei detti *Annali di fisica* ecc t. XIV, pag 71. Egli riconosce l'influenza della luna non solo sull'ago magnetico, ma sulla pressione atmosferica, sulla temperatura e sullo stato del cielo. Nell'*Annuario* del secondo anno presenta poi un *Un tentativo per istabilire un'effemeride meteorologica*

1703. Una colonna d'aria atmosferica fa equilibrio con una di mercurio d'egual base, la cui altezza è misurata dal barometro. Se quel fluido avesse in ogni strato la medesima densità, si dedurrebbe facilmente colla nota legge il limite dell'atmosfera (§. 512), che risulterebbe elevato meno di 8 chilometri, vale a dire che sarebbe al di sotto della sommità del monte Devalagiri ed anche inferiore al punto dove giunse Brioschi nel globo areostatico (§. 637). La densità dell'atmosfera però diminuisce con una data legge a misura che cresce l'altezza (§. 640), ed è all'appoggio di tal legge che si è dedotta la formola per misurare le altezze col barometro (§. 649). Se si calcoli con questa formola quanto sia alta l'atmosfera, facendo $a=o$ e prendendo per la temperatura $T=27°,5$ la media all'equatore (§. 1670) e $T'=-266,7$ zero assoluto (§. 1012), risulterebbe l'altezza richiesta minore di 28 chilometri (1). Ma l'atmosfera deve essere molto più elevata ed inoltre avere la forma di elissoide in causa della rotazione e della maggiore temperatura, che riceve all'equatore in confronto dei poli. Se il fluido atmosferico non fosse disturbato nel suo equilibrio da queste due cause e fosse soggetto soltanto all'attrazione, dovrebbe prendere, secondo le leggi della statica, la figura sferica.

Il punto, cui l'aria conserva abbastanza densità per riflettere la luce crepuscolare, sarebbe elevato secondo Arago di met. 58016 sul mare (2), numero che non molto si discosta da 56837 rinvenuto da Schmidt; talchè siamo indotti a ritenerne l'altezza totale almeno di 60 chilometri. D'altronde l'espansibilità dell'aria ha un limite (§. 602), che è raggiunto dove si equilibra colla sua gravità. Secondo i calcoli di Delambre (3) l'altezza assoluta dell'atmosfera sarebbe di met. 70800, e secondo quelli del succitato Schmidt (4) di met. 56840 all'equatore e met. 42920 ai poli. Siamo

(1) Si crede comunemente che Pascal sia stato il primo a mostrare come il barometro potesse essere applicato alla misura delle altezze (§. 594). L'esperimento del fisico francese fu istituito nel novembre 1647, cioè tre anni dopo che Berigardo l'aveva eseguito in Italia, come nota Libri negli *Annales de chimie et de physique*, seconda serie, t. XLVI, pag. 336, e come si riscontra nel *Circulus Pisanus*, t. VII, pag. 621, ediz. del 1643, dove apparisce che il fisico italiano, salendo sopra alti monti della Toscana, aveva riconosciuto l'abbassamento del mercurio nel tubo torricelliano. Gli autori del *Physikalisches Wörterbuch* ecc., t. VI, pag. 1835 danno pure la priorità a Berigardo.

(2) Si vegga il giornale *L'Institut*, n° 207, pag. 43.

(3) *Astronomie théorique et pratique*. Parigi 1814, t. III, pag. 337.

(4) *Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie*. Gottinga 1830, parte II, pag. 236.

quindi autorizzati a conchiudere che il punto, dove termina l'atmosfera, non è ancora definitivamente determinato, e che l'aria in quelle elevate regioni deve essere estremamente rarefatta, e molto più del grado cui si riduce colle migliori macchine pneumatiche (§. 591).

1704. L'acqua allo stato aeriforme, od a quello di liquido, od all'altro di solido, dà nascimento alle *meteore umide* od *idrometeore*, di cui ora dobbiamo tenere ragionamento. Il vapore acqueo, mescolandosi uniformemente all'aria, non ne disturba la temperatura e, semplicemente condensato oppure trasformato in liquido ed in solido, è origine di tutte le idrometeore. Si è veduto qual legge segue l'evaporazione all'aria libera e come se ne determina la quantità coll'*atmometro* (§. 1658) In poche specole d'Italia e dell'estero si tiene conto dell'evaporazione giornaliera per dedurne le medie mensuali e quella dell'anno o d'un periodo d'anni. Per deficienza di siffatte osservazioni gli scrittori di meteorologia restano mutoli su questo elemento dello stato atmosferico, il quale è di tant'importanza per isciogliere compiutamente il problema altrove accennato (§. 1643).

Alla specola della R Accademia delle scienze di Torino s'istituiscono anche attualmente ogni giorno le dette osservazioni, e nel periodo di 6 anni, 1803-1808, l'evaporazione media risulta, secondo Vassalli (1), di met. 1,26, essendo quella del solo 1807 di m. 1,43 la più copiosa. La quantità d'acqua di pioggia e neve caduta nel detto sciennio è di met 0,793, e nel solo 1807 di met. 1,06. Nel 1808 l'acqua elevatasi nell'atmosfera ha superato di m. 0,21 quella caduta I risultati poi del quindennio 1803-1817, pubblicati nella *Memoria* di Vassalli altrove citata (§ 1664), danno per la media annuale della pioggia e neve caduta met. 0,86, e per quella evaporata met. 1,32. Da queste osservazioni si apprende come la quantità d'acqua, che si eleva annualmente allo stato di vapore nell'atmosfera, sia sempre molto più grande di quella che cade allo stato di liquido sul suolo (§. 1643). Le osservazioni fatte da Venerio in Udine, quantunque si riducano soltanto ad alcuni mesi del 1803, conducono alla stessa conclusione. Infatti la quantità d'acqua elevatasi in vapore è stata nel mese d'aprile di quell'anno di mm. 121,59, e quella caduta di mm. 44,44; talchè si ha l'eccesso in evaporazione di mm 77,15. A Dijon la quantità media d'acqua evaporata nel mese di giugno, pel periodo 1839-1844, è stata di

(1) *Histoire météorologique* ecc. di Vassalli Eandi Torino 1812

mm. 122,5 e quella caduta di mm 44,2; vi ha dunque anche qui in acqua evaporata l'eccesso di mm. 78,3.

1705. Le idrometeore sono costituite dall'acqua, la quale allo stato di vapore trovasi diffusa nell'aria: affine quindi di studiarle in ogni stadio e circostanza bisogna saper determinare il grado d'umidità dell'aria stessa portata dai venti, ossia la più o meno grande facilità per depositare il vapore (§. 1039); ed inoltre la quantità d'acqua compresa in un dato volume d'aria dei medesimi (§ 1660). In quasi tutte le specole italiane ed estere o si trascurano le osservazioni sull'umidità o si fa uso dell'igrometro a capello o di altro della stessa specie, dai quali nulla si può ottenere d'esatto a vantaggio della meteorologia comparata. Venerio osservava l'igrometro di Chiminello (§. 629), e poscia adoprava quello a tunica villosa di Bellani (§. 632); ma, destandogli entrambi poca fiducia, trascurò la deduzione delle medie e non ne furono pubblicati i sunti. A Berlino, a Brusselle, a Gottinga, ad Halla ed in parecchie città della Germania, come pure a Pietroborgo e in tutte le specole dell'impero russo si fa uso del psicrometro, il quale è stato eziandio adottato dal Comitato della Società reale di Londra per le osservazioni intorno all'umidità. A Parigi, quantunque siasi abbandonato l'igrometro a capello per le sue imperfezioni, non s'istituiscono al presente le osservazioni quotidiane dell'umidità.

I confronti ed i quadri offerti da alcuni scrittori di meteorologia sono dunque inconcludenti, non potendosi per mezzo dei comuni igrometri giungere a verun risultato attendibile. È appunto per questo che vien raccomandato a tutti i meteorologisti ed a tutte le specole della nostra Italia l'uso del psicrometro per valutare l'umidità (§. 637). A tal fine daremo qualche schiarimento intorno al metodo di farne le annotazioni nei registri meteorologici, riportando eziandio la formola riputata la migliore a tale scopo ed aggiungendovi l'altra pel caso che si formi un velo di ghiaccio sul bulbo inumidito o che la temperatura sia al di sotto dello zero. In due distinte colonne del registro si scriveranno i dati fondamentali raccolti dall'osservazione immediata, vale a dire, *il numero dei gradi segnati dal termometro a bulbo inumidito e quello dei gradi indicati dal termometro a bulbo asciutto*. Con questi dati si calcolerà la tensione f del vapore esistente nell'aria alla temperatura t indicata dal termometro a bulbo asciutto mediante la formola (§. 638):

$$f = f' - \frac{0,429\,(t - t')}{610 - t'} \cdot p,$$

dove f' è la tensione massima dei vapori acquei alla temperatura t' indicata dal termometro a bulbo inumidito e nel caso di $t'>0$, ed inoltre p la pressione manifestata dal barometro. Pel caso di $t'>0$ la formola si trasmuta in quest'altra: $f=f'-\frac{0,383\,(t-t')}{610-t'}.p$. La tensione f' corrispondente alla temperatura t' si ha dalla tavola fondata sulla formola altrove dimostrata (§ 615) Dopo aver determinato in tal modo f, il grado d'umidità dell'aria, espresso in centesime parti della massima, sarà $u=\frac{100f}{F}$, essendo F la tensione massima del vapore acqueo alla temperatura t indicata dal termometro asciutto, la quale tensione si ha pure dalla tavola. Per facilitare la valutazione di u da scriversi nella colonna *umidità* dei registri, si calcolerà previamente in una tavola l'espressione $0,429\,(t-t')p$ per la differenza di 0°,1 e così per le successive sempre crescenti di un decimo sino a 10 in 11 gradi, prendendo per p la pressione barometrica media del luogo. Avvenendo di rado l'uso della seconda formola, si calcolerà il valore di f direttamente pa pochissimi casi che succedono nell'anno.

Interessa talvolta di sperimentare contemporaneamente coll'igrometro di Daniell, o con altro consimile, e di calcolarne l'umidità $u=\frac{100f\,(1+ct')}{F\,(1+ct)}$, che è la formola pel suo uso (§ 636), nello stesso tempo che nel luogo si fa l'osservazione col psicrometro. Si avverte che, per cogliere più esattamente il grado del punto di rugiada, si osserva il termometro interno al momento della comparsa dell'appannamento ed all'istante della scomparsa, e si prende la media delle due indicazioni, che esprimerà il grado di tal punto.

1706. Si è più volte notato che il grado d'umidità dell'aria è ben differente dalla quantità d'acqua in essa diffusa (§ 624), riescendo a parità di vapore acqueo la stess'aria molto umida a bassa temperatura, e secca a quella elevata. L'aria a bassa temperatura è capace di pochissima quantità d'acqua; mentre ad un calore elevato ne contiene in quantità molto maggiore, quantunque manifesti egual grado igrometrico, ed è per ciò che a pari umidità i venti caldi portano con sè maggiore copia di vapori acquei di quelli freddi. Nella meteorologia interessa di conoscere la quantità d'acqua mescolata con un dato vento. La quantità d'acqua m in grammi per ogni metro cubico d'aria si valuta colla formola superiormente di-

mostrato (§. 1660) $m = p \cdot \frac{1443,718}{1364,2+5t}$, dove t è il grado termometrico cui si deposita il vapore o il punto di rugiada, al quale corrisponde la tensione massima p desunta dalla tavola succitata.

L'acqua contenuta in un dato volume d'aria si determina eziandio direttamente coll'esperienza, senza determinare il punto di rugiada. Si abbia un recipiente di latta di data capacità, per. es. di 8 litri, che potrebbe essere un cubo di 2 decimetri di lato, chiuso esattamente con coperchio, nel quale è praticato al pari del fondo un orifizio di qualche centimetro di diametro, muniti ambidue di cannello con chiavetta. Si riempie il recipiente d'acqua e al cannello superiore si adatta esattamente con luto un largo tubo di vetro disposto orizzontalmente della lunghezza di alcuni decimetri. Nel tubo si sono previamente introdotti degli stoppini d'ammianto o dei frammenti di pomice inzuppati d'acido solforico concentrato, senza che impediscano il passaggio all'aria; essendosi del tutto stabilito il giusto peso. Si aprano le due chiavette, e l'acqua scola pel suo peso dal cannello inferiore ed obbliga altrettant'aria lungo il tubo ad occupare lo spazio abbandonato dall'acqua. Gli 8 litri d'aria, entrata nel recipiente, hanno dovuto lasciare l'acqua d'umidità all'acido solforico con cui sono venuti a contatto, e l'accrescimento di peso che si riscontra nel tubo esprime la quantità di vapore acqueo assorbito dall'acido e contenuto nell'aria, con cui è venuto a contatto.

1707. Da quanto si è esposto si apprende che *l'aria lascierà più o meno facilmente libero il vapor acqueo allo stato liquido venendo più o meno raffreddata*. Il raffreddamento può nascere *al contatto di corpi terrestri o nel seno dell'atmosfera*, dando così luogo a diverse meteore, che andremo successivamente dichiarando.

Non tutti i corpi hanno l'egual potere d'emettere il calorico (§.1100), per cui la temperatura, di quelli che lo posseggono maggiormente, si abbasserà, a pari circostanze, ad un grado inferiore degli altri che lo sono meno (§. 1132). Da questo principio dipende il fenomeno della *rugiada*, la quale consiste in vapore precipitato durante la notte sotto forma di goccioletto d'acqua sulla superficie dei vegetali, delle piante ed altri corpi. Siccome poi l'irradiazione calorifica o l'emissione è facilitata dal ciel sereno; così la rugiada avviene quasi sempre quando l'atmosfera è sgombra di corpi estranei. Si richiede altresì una notte calma, affinchè l'aria a contatto col corpo possa aver tempo da raffreddarsi e depositare il vapore allo stato liquido. Devesi a Wells una tale spiegazione, la quale venne confermata dai fatti ed

ha preso posto fra i dogmi della scienza. Il fenomeno somiglia alla deposizione del velo umido sulla superficie dei corpi a bassa temperatura portati in un ambiente caldo (§. 1160) Fusinieri oppugnò la dottrina di Wells sulla rugiada, che fu sostenuta da Melloni contro il medesimo (1).

Per misurare la quantità di rugiada formatasi durante ciascuna notte, si dispone un corpo a tal uso, che prende il nome di *drosometro*. Fiocchi di lana, del peso di mezzo grammo e del diametro ciascuno di 5 centimetri, formano lo strumento il più semplice per la misura della rugiada: si espongono all'aria libera dopo averli esattamente pesati, e l'aumento di massa dà la quantità di rugiada depositata. Disponendo i fiocchi di lana 2 in 3 metri al di sotto di una tenda o d'altro oggetto, che non lascia libera l'irradiazione calorifica, la rugiada riesce minore. Le erbe al di sotto d'alberi fronzuti riescono perciò meno irrorate di quelle poste in aperta campagna. D'altronde la quantità di rugiada sui corpi è in ragione del loro potere emissivo. I metalli levigati sono di rado coperti di rugiada, ed i vegetali ne vengono di più bagnati del nudo terreno, la sabbia di più del suolo compatto, le lamine di vetro di più delle metalliche, ecc. Sulla spiaggia del mare la rugiada è più copiosa, che nell'interno dei continenti non bagnati da molte acque; ed è per ciò che nei deserti dell'Africa è nulla o quasi nulla.

1708. Le goccicle della rugiada, caduta nelle notti calme e serene, si riconsolidano, durante un tempo freddo, in piccole masse cristallizzate e danno luogo alla formazione della *brina*. Il raffreddamento, prodotto nella liquefazione di questa meteora (§. 1014), nuoce assaissimo alla vegetazione, principalmente in primavera depositandosi sui teneri germogli.

Tutte le circostanze, che rendono minore od impediscono la formazione della rugiada, concorrono eziandio in quella della brina. I vegetali, collocati sotto qualche tettoia, soffrono meno di quelli situati in luogo libero, ed un lieve coperto di tela o di paglia li preserva da tali danni. Siccome anche le lievi nubi sovrastanti impediscono la formazione della rugiada e quindi della brina; così si sono preservate talvolta le viti dai danni di questa meteora coll'accensione di

(1) Si veggano pei due dotti italiani gli *Annali di Scienze* ecc., t. xxi, pag. 39, e t. xviii, pag. 232, e t. xix, pag. 46, e le mie osservazioni su tale controversia, t. xxi, pag. 40. Interesseranno eziandio sullo stesso fenomeno le osservazioni del prof. Del Verme negli stessi *Annali*, t. xxi, pag. 29

grandi fuochi di paglia, che ingombrano di fumo l'atmosfera dei vigneti. La brina s'ingrossa con successivi strati sui rami e sulle foglie degli alberi, e prende l'apparenza di barbe, conosciute in Italia sotto il nome di *diacciuoli* detti dai francesi *givre*. Alle volte la brina si mescola con sostanze organiche unite alle erbe, su cui è depositata, trasformandosi in una materia molle, che si chiama *melata*; la quale riesce nocevole al bestiame che ne mangia al pascolo.

1700. L'aria raffreddata raggiunge il punto di saturazione, e non può più cogliere allo stato elastico il nuovo vapore che si eleva dal suolo, per cui questo rimane galleggiante nell'atmosfera e ne turba la trasparenza dando luogo al fenomeno della *nebbia*. Questo vapore, esaminato con lenti, si è rinvenuto composto di sferule cave o vescichette formate di sottilissimo inviluppo acqueo come le bolle di sapone; esse presentano talvolta i fenomeni di colorazione (§. 828), ed è per ciò che si distinguono col nome di *vapore vescicolare*.

Le circostanze per la formazione della nebbia differiscono da quelle che accompagnano la rugiada. Quando questa si deposita, i corpi terrestri hanno sempre la temperatura più bassa dell'aria circostante, mentre nella nebbia accade all'opposto. I vapori ascendenti dal suolo umido, più caldo dell'aria, divengono visibili in questa già giunta al punto di saturazione, nella stessa maniera di quelli che esalano dall'acqua bollente o dall'alito dell'aspirazione. Per tal modo si vedono sovente nell'autunno le nebbie al di sopra dei laghi e dei fiumi ove l'acqua è molto più calda dell'aria avanti il levare del sole. Se l'aria però è molto secca, allora i vapori passano allo stato di fluidi elastici senza disturbarne la trasparenza. L'umidità dei corpi durante le nebbie è ben differente dal velo acqueo prodotto dalla rugiada: la nebbia bagna indistintamente tutti i corpi, mentre la rugiada si deposita di preferenza su quelli raffreddati pel loro grande potere irradiante (§. 1707). Le nebbie non avvengono mai dove l'aria è molto secca e il suolo asciutto. Le *nebbie secche* sono prodotte dalle esalazioni dei vulcani (§. 1637), o dal fumo diffuso nell'atmosfera per molti fuochi di carbon fossile, di fucine dell'industria fabbrile, di miniere e simili e per l'accensione di torbiere ecc.

Le nebbie sono frequenti e folte nei paesi ove il suolo è umido e caldo e l'aria pregna di vapori e fredda. L'Inghilterra si trova in tali circostanze, le cui coste sono bagnate dal mare ad una temperatura più elevata dell'atmosfera. A Londra le nebbie prendono talvolta una densità straordinaria, dovendosi accendere i lumi in pieno giorno nelle contrade e nelle case. Rinomate sono le nebbie che offuscarono quella

città nel 1818 e nel 1832, avendo tale densità che molte persone non trovarono la via per ritornare alle loro case. La nebbia si manifesta sovente sulle praterie, dove il suolo si conserva umido e caldo ed esala dei vapori che, al tramontar del sole, producono la meteora. Nelle valli e nei luoghi bassi in vicinanza di laghi, di stagni e di fiumi, l'aria assorbe molto vapore acqueo durante il calore del giorno, per cui, all'avvicinarsi della notte, i vapori si condensano al grado di formare delle piccole goccie e dar luogo ad una pioggia minuta. Il fenomeno in questo caso somiglia di più alla rugiada che alla nebbia, e nella nostra lingua prende il nome di *guazza*, che i Francesi chiamano *serein*.

Le nebbie manifestano talvolta dei sensibili segni d'elettricità per lo più positiva, che Peltier fa dipendere dall'influenza dello stato delle regioni superiori dell'atmosfera, per cui si sviluppa dell'elettricità per attuazione (1). L'umidità eccedente influisce sulla vegetazione, sul benessere degli animali e sul carattere delle popolazioni, ed è causa dello sviluppo di malattie perniciose.

1710. Le persone, che percorsero le montagne, avranno talvolta avuto occasione di trovarsi immerse in folte nebbie, le quali agli abitanti della pianura sottoposta appariscono masse vaporose natanti nell'atmosfera. Queste masse erranti nelle regioni elevate costituiscono le *nuvole* o *nubi*, ed hanno l'egual origine della nebbia. Esse però si formano spesso dall'incontro di due venti, l'uno freddo e l'altro caldo pregno di vapori, i quali si condensano in nubi sotto l'azione refrigerante del primo vento. Allorquando si considera da lungi una catena di monti, si vede sovente una nube rimanere immobile come attaccata a ciascuna delle loro sommità. Il fenomeno dura per alcune ore e talvolta per intieri giorni; ma una tale immobilità non è che apparente, dominando sovente verso la sommità un forte vento, che condensa i vapori a misura s'innalzano dal lato del monte, e poscia ne sono allontanati dissipandosi in un'atmosfera più calda. Saussure è stato più volte testimonio d'un tal fenomeno sulle Alpi.

L'altezza media delle nubi si valuta di poco più d'un chilometro, ma varia secondo le circostanze, trovandosi le nubi temporalesche e grandinose in regioni meno elevate, ed assicurando Volta, secondo le proprie osservazioni, che non esistono mai nuvole alla distanza verticale di 6 chilometri. L'altezza delle nubi temporalesche si determina per approssimazione contando i secondi di tempo trascorsi fra

(1) *Mémoires des savants étrangers de l'Académie de Bruxelles*, t. xv, part 2ª.

l'apparizione del lampo e la percezione del rumore del tuono, sapendosi la velocità con cui si propaga il suono (§. 609).

1711. Lo stato del cielo si nota nei registri meteorologici coi vocaboli generici di *sereno*, *coperto*, *nuvoloso*, *rotto* (nubi sparse) e *pioggia*. Siccome le denominazioni intermedie al *sereno* ed alla *pioggia* esprimono nubi più o meno estese nell'alto dell'atmosfera; così sarebbe bene d'indicare in ogni caso la specie di nubi, e renderne più significativa l'annotazione. Nelle specole meteorologiche della Russia si suole appunto seguire la nomenclatura delle nubi proposta dall'inglese Howard ed ormai accolta favorevolmente da tutti i fisici.

Distingue egli le nubi secondo le parti di cui si compongono, e secondo la forma che prendono. Tre hanno un tipo primitivo da cui nascono le secondarie, e si appellano *cirro*, *cumulo* e *strato*. Le altre quattro derivano dalle precedenti, e si denominano *cirro-cumulo*, *cirro-strato*, *cumulo strato* e *nembo*. La *nube cirro* apparisce composta di parecchi filamenti intrecciati in differenti modi e forme, *a*, *b*, *c*, *d*, (fig. 517), i quali sono più numerosi nelle giornate secche che nelle umide tendenti alla pioggia. Qualche volta somiglia in tutto od in parte a capelli variamente increspati *a*, *b*, *c*, e tal altra ad una specie di reticella *d*. Questa nube è sempre molto elevata sull'orizzonte e, ripercossa dai raggi solari, prende un bianco abbagliante sovente sotto l'aspetto d'ammasso di piume, per cui alcuni la chiamano eziandio *nube piumosa*. La *nube cumulo* si mostra spesso sotto forma d'emisfero *a* colla base orizzontale (fig. 518) sotto la figura di un mucchio di cotone cardato, per cui è stata anche distinta col nome di *nube ammucchiata*. Qualche volta si compone di parecchi emisferi accumulati gli uni sugli altri, formando le nubi *b*, *c*, più o meno grandi, che rassomigliano da lungi a grandi montagne coperte di neve. I cumuli si manifestano al mattino e crescono d'ordinario sino a qualche ora dopo mezzodì, per isparire verso sera lasciando il cielo libero e sereno. La *nube strato* è molto estesa e bassa, ed è nella parte inferiore e superiore conterminata da piani orizzontali (fig. 519). Se si estendesse sino al suolo costituirebbe la nebbia (§. 1709), mentre nell'alto forma la *nube stratificata*. Non di rado avviene che, sollevandosi a maggior altezza, si trasformi in cumulo. Essa nel 1783 coprì per gran parte dell'anno quasi tutti i paesi d'Europa. Il nome di *cirro-cumulo* è dato da Howard a quella serie di piccole nubi per lo più rotonde *a*, che illuminate dal sole si presentano in distanza sotto l'aspetto di una mandra di pecore (fig. 520) e nello spazio da esse oscurato fanno comparire il cielo pomellato *b*. La nube, parte-

cipando del cumulo in quanto alla forma e del cirro riguardo alla bianchezza ed all'elevazione, trae da queste il suo nome e si chiama pure *piumosa-ammucchiata*. Piccole bande formate di filamenti più serrati di quelli del cirro, che talvolta non danno adito ai raggi solari, formano la *nube cirro-strato*. Essa è disposta in istrati orizzontali, pei quali allo zenito sembra composta di gran numero di delicate nubi; mentre che veduta di fronte apparisce all'orizzonte una specie di tenda assai estesa e sottile (fig 521), e riceve per ciò anche la denominazione di nube *piumosa-stratificata*. Si distende spesso su tutta o quasi tutta la volta celeste ed in questo caso annunzia non di rado una placida e continuata pioggia Al tramonto del sole offre allo sguardo il color rosso vivace e, quando abbia una certa densità, una oscurità cupa annunziatrice di pioggia. Allorquando parecchie nubi *cumulo* si radunano e si addensano in una sola, dando all'orizzonte una tinta azzurrognola ed oscura, formano il *cumulo-strato* (fig.522) o la nube *stratificata-ammucchiata* Quest'ultima specie di nubi si trasforma in *nembo*, che si distingue alla tinta nericcia uniforme ed al lembo addentellato o lacero. Le parti di cui si compone sono in tal guisa confuse assieme da riuscire impossibile a distinguerle (fig.523), ed essa si scioglie sempre in pioggia.

La grossezza delle nubi è varia, e quella *attraversata* da Bixio e Barral nella loro ascensione areostatica, era di circa 3 chilometri (1). La superficie superiore della nube sarebbe stata elevata di 4200^{m}. Non riesce difficile a distinguere le varie specie di nubi per le quali, con un poco d'esercizio in relazione anche col barometro e col termometro, si giungerà a stabilire la norma quasi sicura per la predizione del tempo.

1712. Diminuendo la temperatura della nube per l'incontro di spazi freddi, le vescichette si condensano, si riuniscono, formano delle gocce, che cadono pel loro peso, e danno origine al fenomeno della *pioggia* Attraversando gli strati d'aria assai secchi, le vescichette alla superficie della nube evaporizzano passando interamente allo stato elastico, raffreddano la massa rimanente che si trasforma in pioggia. Accade talvolta che le gocce attraversino dell'aria molto secca e si evaporizzino di nuovo sciogliendosi nell'atmosfera senza dar luogo a pioggia sul suolo sottoposto. È per tale causa che, in primavera principalmente, una nube, distesa sopra un gran tratto della superficie terrestre, porta pioggia soltanto in alcuni dei

(1) *Annali di fisica* ecc più volte citati, seconda serie, t. III, pag 165.

luoghi sottoposti. Talvolta però le gocce aumentano di massa durante la caduta, incontrando in vicinanza della terra nuovo vapore acqueo, che si condensa su di loro per la bassa temperatura cui si trovano (§. 1160).

La differenza d'altezza di 30 metri basta per rendere sensibile il fenomeno: infatti nello spazio di 13 anni (1817-1829) la quantità media di pioggia caduta nel cortile della specola di Parigi fu di cent. 56, mentre quella raccolta sul terrazzo della medesima, più elevato di 28^m, risultò di 50 cent. La specola reale di Capodimonte, è più elevata di 84^m di quella della marina di Napoli, e le medie di 20 anni danno che le quantità di pioggia stanno prossimamente come 3 a 4. Person a Besanzone, in due stazioni elevate l'una sull'altra di 194^m ed alla distanza orizzontale di 1560^m, ha trovato che dal 1° gennaio 1846 al 1° settembre 1849, nel trimestre d'estate, la pioggia caduta è stata di cent. 119 alla stazione inferiore ed a quella superiore di cent. 84. Nel trimestre di gennaio, febbraio e marzo dei detti quattro anni la quantità media di pioggia risultò di cent. 97 alla stazione inferiore e soltanto di cent. 33 alla superiore. In generale rinvenne che la quantità d'acqua caduta è sempre più grande nella stazione inferiore che nella superiore (1). Il fenomeno dipende dalle circostanze di luogo, avvenendo talvolta il contrario, come risulta dalle osservazioni di Acosta alla Nuova Granata ad altezze che variano da 1000 a 2000 metri, e da quelle di Miller istituite in Inghilterra nel 1848 e comunicate alla Società R. di Londra, dalle quali apparisce che la quantità di pioggia caduta aumenta sino all'altezza di circa 610^m, dopo cui diminuisce (2).

1713. La condensazione dei vapori succede qualche volta con estrema lentezza e dà origine a quella *pioggerella* o pioggia minuta detta da alcuni *spruzzaglia*, che poco differisce dalla guazza (§.1709). Le *piogge a ciel sereno* dipendono dalla condensazione dei vapori diffusi nell'atmosfera allo stato elastico senza la presenza di nubi, e resi liberi dalla diminuzione di temperatura (3). Nelle pioggie temporalesche la condensazione dei vapori accade celeremente, ed hanno luogo gli *acquazzoni*, nei quali l'acqua è rovesciata a torrenti sulla terra, e che perciò chiamansi dai classici italiani anche *rovesci*. L'*acquazzone* però si distingue dal *rovescio* in quanto che

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. I, pag. 40.

(2) Lo stesso tomo degli *Annali*, pag. 40 e 28.

(3) La serie 1ª dei medesimi *Annali*, t. XI, pag. 285.

nel primo l'acqua, caduta in gocce dense e grosse, può essere in quantità non molto grande per la poca durata, mentre il rovescio porta con sè sempre l'idea di notabile quantità di pioggia continua Un rovescio è quello accaduto in Francia nel settembre del 1846, che ha durato per ben 12 ore continue ed ha inondato il giorno 20 i contorni di Privaz (1). L'acqua caduta è stata di centimetri 23,4, che supera il quarto della pioggia totale, che in termine medio cade ogni anno a Torino ed a Milano. Nella notte dal 7 all'8 settembre 1847 caddero in Siena in meno di 4 ore centimetri 10,7, e nel 25 ottobre 1822 in Genova in poche ore si ebbero in un solo rovescio cent. 82 d'acqua L'acquazzone invece è sempre passeggiero, di poca durata ed esteso a piccolo territorio. Le piogge ordinarie, come quelle di autunno in parecchie parti d'Italia, s'estendono quasi sempre sopra un gran tratto di paese e sono di lunga durata, quando qualche vento non dissipi le nubi trasportandole altrove Le pioggie sono regolari nella zona torrida, dove le cause da cui sono generate conservano una grande uniformità. Al contrario nella nostra zona sono irregolari

Le piogge, secondo le circostanze, producono dei buoni o dei cattivi effetti: sono d'ordinario giovevoli le piogge di primavera e d'estate, perchè rinfrescano e purificano l'atmosfera, temperano l'eccessivo calore, bagnano un terreno arido e recano ai languenti vegetali l'aumento necessario al loro prosperamento. Le pioggie invece d'autunno e d'inverno divengono funeste se sono troppo copiose, perchè insinuano nell'aria un'umidità spesso pericolosa all'economia animale, ritardando la maturità dei cereali, sono di nocumento alle strade e fanno straripare i fiumi con danno dell'agricoltura e della navigazione

1714. Per determinare la quantità di pioggia che cade in un luogo, si dispone l'apparato apposito detto *udometro, ombrometro, ietometro* o *pluvrometro*. Si compone di due parti principali: *il recipiente per accogliere la pioggia ed il serbatoio per misurarne la quantità*. Il più semplice udometro consiste in una specie d'imbuto di bocca quadrata con lato di lunghezza data (fig 524), che si colloca alla sommità della specola per ricevere l'acqua della pioggia e quella di fusione della neve e della gragnuola. È assicurato sopra un sostegno col piano dell'apertura orizzontale ed in modo da poterlo levare al bisogno. Il cannello del recipiente entra nel tubo attac-

(1) *Annali di fisica ecc.* sorcitati, t xxx, pag 71.

cato al muro, pel quale le acque sono condotte nel serbatoio fisso della sottoposta stanza della specola. Il serbatoio ha la forma di prisma a base quadrata minore della bocca del recipiente ed una parete di lastra di vetro con iscala divisa in frazioni di decimetro. Dando per lato 6 decimetri alla bocca dell'imbuto e 3 decimetri a quello della base del prisma, l'elevazione dell'acqua in questo risulterà 4 volte maggiore di quella caduta sulla superficie dell'altro; talchè ogni millimetro sarà rappresentato da 4 sulla scala. Quando il serbatoio comunichi con un tubo verticale di vetro, non è necessaria la parete trasparente; in tal caso però si gradua versandovi dei volumi dati d'acqua. Il serbatoio è munito inferiormente d'un cannello con chiavetta d'ottone per lasciare ogni volta uscire l'acqua dopo averne osservata e notata l'altezza sul registro meteorologico, ed ha una capacità maggiore della quantità d'acqua, che può cadere in una sola volta. Il tubo di comunicazione dei due vasi, all'entrare nell'ultimo, avrà soltanto il diametro di qualche centimetro per impedire l'evaporazione, durante il tempo che l'acqua rimane nel serbatoio avanti di osservarla.

1715. La quantità media di pioggia, che cade in un anno, varia moltissimo secondo le accidentalità di luogo e la posizione geografica. Le 9 città d'Italia, altrove rammentate per la pressione atmosferica (§. 1691), abbracciano tutta la nostra penisola dalle Alpi all'estremità opposta ed alla Sicilia, e nei periodi indicati danno le quantità medie di pioggia annuale notate nel seguente quadro secondo gli osservatori summenominati. A rendere evidente la variazione della pioggia aggiungiamo quelle cadute in esteri paesi, che pubblicarono gli scrittori di meteorologia.

IN ITALIA				ALL'ESTERO		
Udine (1803-1842). . .	cent.	157,9.	—	S. Domingo .	cent.	308.
Milano (1764-1814) . .	«	95,6.	—	Bombay . . .	«	208.
Torino (1803-1817) . .	«	95,6.	—	Londra . . .	«	67.
Bologna (1813-1822) .	«	55,6.	—	Parigi	«	56.
Genova (1833-1842) . .	«	134,0.	—	Berlino . . .	«	52.
Firenze (1821-1840). .	«	96,1.	—	Stocolma . .	«	52.
Siena (1839-1848). . .	«	81,2.	—	Marsiglia . .	«	47.
Napoli (1821-1844) . .	«	79,6.	—	Pietroborgo .	«	46.
Palermo (1782-1842) .	«	56,3.	—	Madrid . . .	«	26.

In generale piove di più nei paesi meridionali, dove è grande l'evaporazione, che nei settentrionali dove è minore. Tuttavolta vi

uno dei luoghi, nei quali, per la posizione dei monti in riguardo ai venti che spirano e per le accidentalità del suolo, la pioggia è di poca quantità quantunque situati a latitudini minori della media, come è di Madrid, Marsiglia e Palermo. Genova è posta più al nord ed egualmente sul Mediterraneo di Marsiglia, eppure nella prima cade circa tre volte più acqua che nella seconda città. La cagione sta riposta nello scontro dei venti di S.E. e di N.E., contenendo l'uno molto vapore ed avendo l'altro la fredda temperatura per condensarlo (§. 1702). La minima quantità d'acqua caduta in Genova nel periodo è stata nel 1840 di cent. 113 e la massima nel 1842 di cent. 164,4. I rovesci sono frequenti e quello del 25 agosto 1842, in meno di 10 ore, diede nella stessa città all'udometro cent. 24,7, e l'altro diluviale surrammentato (§. 1713) in minor tempo l'enorme quantità d'acqua di cent. 82, che supera la pioggia media annuale a Siena ed a Napoli. A Tolmezzo sarebbero caduti durante il 1801 cent. 286 di pioggia e nel 1803 cent. 384, essendo, secondo Balbi nella sua Geografia, la media di 10 anni di cent. 244. Udine appartiene alla stessa provincia di Tolmezzo e presenta una media quantità di pioggia rilevante, essendo stata la massima del periodo di cent. 217 nel 1803 e la minima di cent. 70,6 nel 1834. Valletaugue in Francia offre lo stesso fenomeno (1). Nella zona equinoziale le cause delle piogge si conservano presso che costanti e l'evaporazione molto abbondante, per cui piove con assai frequenza e regolarità, come ha verificato Humboldt ed alcuni anni sono l'uffiziale Chretien della squadra italiana di Napoli nel viaggio al Brasile (2).

L'anno 1814 è stato a Milano il più copioso di pioggia del periodo, avendo dato all'udometro cent. 132,5, ed il 1771 il meno abbondante di cent. 59,4. A Siena risultò il massimo di cent. 106,5 nel 1848 ed il minimo di cent. 58,0 nel 1843; mentre a Napoli il massimo fu di cent 114,2 nel 1826 ed il minimo di cent. 54,6 nel 1834. La quantità di pioggia è moltissimo variabile dall'uno all'altro paese, e nello stesso luogo da un anno all'altro. A Milano Cesaris ha trovato che, dividendo i 51 anni in un certo numero di periodi eguali e successivi, risulta una serie crescente di pioggia. Egli l'attribuisce all'ingrandimento dell'irrigazione, che ha avuto luogo nel corso di quel mezzo secolo, per cui si è sparsa una quan-

(1) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. xxv, pag. 126.
(2) I medesimi *Annali*, t. xx, pag. 161

tità d'acqua sopra una più grande superficie, che ha aumentato l'evaporazione e quindi ha reso più frequenti le pioggie. La quantità media dell'acqua caduta in Bologna nel periodo del quadro deve essere maggiore della notata, non essendosi compresa quella di fusione della neve.

D'ordinario la stagione più piovosa è l'autunno e la meno di tutte l'inverno, come si riscontra in Italia ed in molti altri luoghi d'Europa. Tuttavolta in parecchi di essi avviene il contrario: a Stoccarda, ad Ulma, a Gottinga, a Praga, a Strasburgo e nella regione sotto l'influenza dell'Oceano Atlantico pioverebbe in maggior copia nell'estate che nell'inverno. Parimenti in alcuni paesi piove di più durante la notte che nel giorno, ed in altri succede all'inverso. In generale la pioggia riesce minore a misura che i luoghi si allontanano dai monti. Secondo Schouw la quantità di pioggia sarebbe maggiore nella pianura del Po che nella parte occidentale dell'Italia centrale ed in questa maggiore che al mezzodì della penisola.

1716. Allorquando la temperatura nelle regioni delle nubi si mantiene a zero od al di sotto, i vapori si condensano, si agglomerano in fiocchi più o meno regolari dando luogo al fenomeno della *neve*. Raccogliendo i fiocchi sopra una superficie bruna ed inferiore a zero, si scorgono i cristalli della neve, che sono tanto più regolari quanto più l'aria è calma. La neve d'ordinario ha il volume 10 in 12 volte più grande dell'acqua di liquefazione, risultando del peso specifico di circa 0,1, quantunque in qualche caso possa essere più densa. Essa differisce dalla brina (§. 1708) formandosi nell'alto dell'atmosfera e non nelle basse regioni della terra.

Durante i grandi freddi del suolo, mentre l'aria superiore conserva pei venti un calore sopra zero, le gocce di pioggia si congelano al giungere sulla superficie della terra, coprendola d'uno strato di ghiaccio che noi Italiani chiamiamo *geliċidio* e gli stranieri *verglas*. Se nell'alto dell'atmosfera la temperatura è molto bassa, i vapori si congelano più sodamente, formando dei piccoli granelli inviluppati talvolta di vero ghiaccio, e cadono al suolo dando origine a quella neve minuta detta nel nostro linguaggio *nevischio* e dai Francesi *grésil*.

1717. L'acqua nelle regioni dell'atmosfera si riconsolida talvolta in masse più o meno grosse e più o meno consistenti, e cade al suolo devastando i campi ed i vigneti. Questa meteora differisce dalla neve e dal nevischio per la forma, la grossezza e la consistenza delle agglomerazioni, ed è conosciuta sotto il nome di *gran-*

dine o *gragnuola*. La grossezza dei pezzi di ghiaccio varia dal più piccolo globetto alle voluminose masse, che superano talvolta la grandezza delle uova comuni. Kaemtz riferisce di alcuni del peso di $^1/_2$ chilogrammo caduti a Costantinopoli il 5 ottobre 1831. Ma senza cercarne altrove degli esempi, si rammenta ancora nell'alta Italia la grandine, che colpì Padova il 26 agosto 1834. Il professore Casari ne ha data la relazione (1) e racconta che, unitamente a globi, caddero delle lastre di ghiaccio più o meno grosse e trasparenti in parte od in tutto come quelle di vetro, le quali avevano la lunghezza da 3 sino a 22 centim. La meteora rovinò tutte le tegole dei tetti, infranse i vetri delle finestre e portò non pochi altri danni nella città ed alla campagna.

Le nubi grandinose appartengono spesso a quelle distinte sotto il nome di cirro (§. 1711), che si abbassano e diventano dense e nericce, sono accompagnate da grandi scariche elettriche, le quali vengono annunziate da lampi, tuoni e fulmini. L'elettrico deve aver parte nella formazione della gragnuola, giacchè nei paesi boreali, dove le nubi sono di rado fornite di tensione elettrica, non grandina quasi mai. In Italia l'estate e la primavera sono le stagioni, in cui d'ordinario si forma la gragnuola, la quale cade più spesso di giorno che di notte: queste circostanze sono le più favorevoli all'accumulamento dell'elettrico nell'atmosfera (§. 1330). In Inghilterra ed in Francia il nevischio e la gragnuola sono più frequenti nella primavera e nell'inverno, forse per la corrente aerea superiore (§.1678) che dalla zona torrida porta le nubi lungo l'Oceano Atlantico. Nella Germania e nella Russia invece la primavera e l'estate sono le stagioni più apportatrici di gragnuola.

1718. Qual è l'origine della gragnuola? Sinora la teorica di Volta prevale sulle diverse ipotesi immaginate per dar ragione del fenomeno (2), perchè in essa si tiene conto di tutte le condizioni necessarie, le quali sono: la bassa temperatura per l'agghiacciamento dell'acqua delle nubi nel cuore dei caldi giorni estivi, l'ingrossamento dei granelli, la sospensione nell'aria dei medesimi sino alla loro caduta. Al calore dei giorni estivi la temperatura, nell'alto del-

(1) *Annali delle scienze del regno Lombardo-Veneto*, bimestre novembre e dicembre 1834. Vedi anche per la grossezza della grandine gli *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 2ª serie, t. 1, pag. 54

(2) Egli l'ha pubblicata nel 1806 e fa parte della *Collezione* succitata delle sue opere, t. 1, parte 2ª, pag. 235

l'atmosfera, non potrebbe diminuire al punto da produrre l'agghiacciamento (§.1671). Volta ha però riconosciuto che le nubi grandinose si trovano sempre in un'aria ben secca, come venne confermato su alti monti da altri fisici. Lo stato secco dell'aria circostante o portata dai venti facilita l'evaporazione e produce un grande abbassamento di temperatura (§ 1015), per cui nasce il congelamento dei vapori, che formano i nuclei della meteora. Due nubi, dotate d'elettricità contraria (§ 1657), sono disposte l'una sotto l'altra: i primi nuclei, formati per es. dai vapori della prima, sono attratti dalla seconda, la quale li repelle dopo averli elettrizzati omologamente; e così ripetendosi alternativamente l'attrazione e la ripulsione dalle due nubi, i nuclei medesimi saltellano nella stessa guisa della danza elettrica (§ 1243). In tale movimento vengono ogni volta a contatto dei vapori, si vestono di nuovi strati solidi, e s'ingrossano sempre più, sinchè giungono al punto da prevalere la gravità sull'attrazione elettrica e cadere pel loro peso al suolo.

L'esistenza delle nubi in contrario stato elettrico è dimostrata da alcuni fatti addotti da Volta e confermata dalle osservazioni di Peltier sul monte Faulhorn. Egli ha trovato che le nubi bianche manifestavano un'elettricità fortemente positiva, mentre le nubi grigie e nericce mostravano una tensione negativa così forte che non si poteva misurare all'elettrometro. D'altronde Volta racconta d'aver sentito il rumore dell'urto dei granelli nella danza poco prima della comparsa della gragnuola, fenomeno confermato dall'attestazione di altri fisici e dallo stesso Peltier, il quale, trovandosi ad Ham, udì un rumore talmente forte che lo credeva prodotto da uno squadrone di cavalleria nel giungere al galoppo sulla piazza, e fu spettatore dopo 20 secondi d'un rovescio spaventevole di gragnuola su quella città.

La teorica di Volta sollevò alcune obbiezioni, che fecero Bellani e qualche altro fisico (1). A malgrado però delle difficoltà opposte, è più completa dell'ipotesi di Saussure, il quale voleva che il nevischio s'ingrossasse di successivi strati nell'attraversare le nubi sottoposte, e diventasse più compatto, non prendendo così in considerazione il gran calore che domina nelle regioni inferiori e quello che si sviluppa nelle successive condensazioni.

1719. Accade talvolta che, miste coi vapori condensati, cadano delle materie eterogenee alle nubi, dando luogo a *meteore problematiche*, dette da alcuni *pioggie misteriose* o *prodigiose*. Queste ma-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. I, pag. 175.

terie consistono o in polvere giallognola del polline di certi fiori e particolarmente di pino; o in miriadi di esseri vegetali ed animali ridotti in polvere rossa; sovente in principii inorganici colorati dal ferro o dall'idrocloruro di cobalto, qualche volta in tubercoli di ranunculo somiglianti a grani di cereali; oppure in sostanze resinose d'un sapore tendente al dolce prodotte da secrezioni di piante, ed infine in ceneri di vulcani. Queste materie, sollevate dal vento e trasportate nell'atmosfera anche a grandi distanze, cadono poscia unitamente ai vapori delle nubi ridotti in acqua od in neve, dando luogo alle così dette *piogge di solfo o di cenere*, alle *piogge di sangue* od alla *neve rossa*, alla *pioggia di manna* o di *grani* ecc. Alla categoria di questi fenomeni appartiene la pioggia di manna osservata da Collaprete sui monti Abruzzi nella bassa Italia (1); la pioggia di cenere veduta da Leps in alto mare (2); la neve rossa riconosciuta da alcuni fisici (3) e quella caduta nella valle di Vegezzo provincia d'Ossola nel febbraio 1841 ed analizzata dal prof. Lavini (4), ed infine la pioggia riscontrata da Tenore nei dintorni di Napoli (5).

Le materie, sollevate in tal modo nell'atmosfera e mescolate colla pioggia, non si devono confondere coll'acido nitrico, che può nascere dalla combinazione dei due gas componenti l'aria (§. 730). Liebig infatti ha scoperto che la pioggia degli uragani contiene quest'acido, che sembra l'effetto di scariche elettriche fra le nubi (§. 1657), nello stesso modo che si producono nuove combinazioni coll'elettrico ordinario (§. 1470), e nello stesso modo che Cavendish ebbe indizi di acido nitrico con poderose scariche delle nostre macchine attraverso l'aria rinchiusa in un tubo.

1720. L'esperienza e l'osservazione dimostrano che le nubi manifestano spesso grande elettricità (§. 1657) e danno nascimento ai fenomeni costituenti le *meteore elettriche*, le quali, per alcuni dei loro effetti, si comprendono nella classe delle ignee. Qual è dunque l'origine e come nasce l'elettricità degli ammassi di vapore acqueo nel-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXVII, pag. 478; e seconda serie, t. I, pag. 157. Lo stesso fenomeno fu osservato da altri, come nello stesso t. XXVII, pag. 161.

(2) I detti *Annali*, prima serie, t. XXVII, pag. 40.

(3) I medesimi *Annali*, t. V, pag. 278.

(4) Gli stessi *Annali*, t. V, pag. 275.

(5) Gli *Annali* mentovati, t. XI, pag. 60. Si vegga intorno alle piogge e nevi colorate cadute in diverse parti d'Italia il *Giornale di fisica* ecc., di Brugnatelli, decade II, t. I, del 1818, pag. 28 e 469.

l'alto dell'atmosfera? Volta è stato il primo a rivolgere i suoi studi a tal sorta d'indagini. Quantunque dapprima avesse sospettato che l'elettrico, come il calorico, si sollevasse coi vapori dalla terra allo stato latente; tuttavia ravvisava nell'azione chimica la forza per cui esso si svolgeva dai corpi (§. 1327) e dichiarava che l'evaporazione non ne era la causa immediata, contribuendo soltanto a metterla in giuoco (1). L'azione chimica infatti rende libero l'elettrico proprio della materia ponderabile nella separazione dell'acqua dai sali (§ 1328) sciolti in immensi bacini alla superficie terrestre, ed essa unitamente alla combustione (§. 1329) ed alla vegetazione (§. 1330) diventano le fonti dell'elettricità atmosferica. La debole *elettricità a ciel sereno* riscontrata da Le Monnier, Beccaria, Saussure, Volta ecc. non è reale, ma è prodotta dall'attuazione dell'atmosfera in presenza della terra, come ha dimostrato Peltier (2), e come ciascuno può assicurarsene portando a diverse altezze sul suolo l'elettroscopio a lunga verghetta terminata in globetto metallico. Nella pioggia può manifestarsi elettricità attuata nello stesso modo delle coscate (§.1279).

1721. Le poderose scariche che si manifestano negli uragani hanno fatto nascere l'idea che il fluido elettrico sia la causa di quei grandi fenomeni della natura (§. 1685). Una tale opinione è principalmente sostenuta da Peltier (3). Si noti che nella celere rotazione delle trombe succede uno sfregamento continuato fra le molecole aeree e le particelle acquee e le altre materie che sono innalzate (§. 1685), il qual moto deve certamente dar luogo ad ulteriore sviluppo d'elettrico, nella stessa guisa che si svolge colla macchina idroelettrica (§. 1229). L'elettrico infatti s'incontra potente in quei terribili fenomeni, ed allora l'opinione di Peltier dovrebbe essere modificata, ritenendo l'elettricità stessa come effetto delle trombe e come forza diretta a renderne più efficace l'agente da cui sono prodotte. La nostra congettura è fondata principalmente sul grandissimo svolgimento d'elettrico durante il fenomeno delle trombe (4); su quello che si palesa nelle eruzioni vulcaniche, dove ha luogo somigliante sfregamento di materie; e sopra alcuni fatti addotti da Birt, dai quali appa-

(1) *Collezione* ecc. succitata, t. I, parte 1ª, pag. 246 e 270; e t. I, parte 2ª, pag. 86, 94 e 283.

(2) I sopraccennati *Annali*, t. III, pag. 54

(3) I citati *Annali*, t. XIX, pag. 264, e *Traité de l'électricité et du magnétisme*, di Becquerel, t. VI, parte 1ª, pag. 173.

(4) I detti *Annali*, t. XIX, pag. 253.

rirebbe che la semplice pioggia sia capace dello sviluppo di quel fluido imponderabile (1). Peltier fa riflettere che in parecchie trombe l'agitazione dell'aria non s'estende vicino a terra in grande spazio, per cui in questi casi non potrebbero aver origine, secondo lui, da due venti opposti. Si osservi però che quelle meteore si formano eziandio in virtù di venti che soffiano nell'alto dell'atmosfera (2). D'altronde Espy, che ha attentamente studiato molti di quei terribili sconvolgimenti della natura e gli ha esaminati in tutti i loro effetti ed accidenti, riconobbe che non sempre l'elettricità si manifesta al principio delle trombe, essendo essa una circostanza accessoria e non essenziale alla loro formazione (3).

L'uragano è accompagnato da parecchie trombe che prendono una grande estensione di terreno; mentre la semplice tromba imperversa in una linea assai ristretta e piuttosto lunga, e in tal caso con maggiore forza e con maggiori guasti (4). Le trombe sono frequenti negli uragani della zona equinoziale (§. 1678), alle Antille, alla Cina e nei mari vicini, come pure nel mare delle Indie (5). In mezzo ai differenti accidenti ed alle diverse opinioni, confessiamo che le trombe richiedono ulteriori studi, verificando, per es., se il loro movimento, secondo Reid, abbia costantemente luogo da sinistra a destra come la lancetta dell'orologio (6), e se le colonne di vapore possano innalzarsi dai bacini d'acqua a somiglianza di quelle delle trombe per la semplice attrazione elettrica delle nubi (7). Per aver idea della tromba di mare, diamo il disegno di una di esse nella fig. 525. Si suole nelle scuole imprimere un moto vorticoso all'aria mediante la rotazione d'un mulinello, per mostrare come s'innalzi una colonna di fina polvere sottoposta, che dà l'idea del fenomeno delle trombe (fig. 526). Ma in tale sperimento mancano le altre circostanze che influiscono sulla formazione di quella meteora.

1722. I fisici sono concordi nel ritenere il *fulmine* o la *folgore* una poderosa scarica di fluido elettrico, che si scaglia da una nube sopra altra o sulla terra, oppure da questa nell'atmosfera. L'elettrico infatti si accumula nelle nubi ed, esplorato nella maniera indicata (§. 1637),

(1) *Annali di fisica ecc.*, 2ª serie, t. I, pag. 253.
(2) I medesimi *Annali*, 4ª serie t. XXVII, pag. 45.
(3) I citati *Annali*, t. IV, pag. 400.
(4) I mentovati *Annali*, t. XXIV, pag. 276, e t. XVIII, 85.
(5) Gli *Annali* nominati, t. XIX, pag. 306.
(6) Gli suddetti *Annali*, t. IX, pag. 150.
(7) I rammentati *Annali*, t. XXV, pag. 64.

si è trovato della stessa natura di quello che si trae dalle comuni macchine. D'altronde la folgore produce degli effetti consimili: essa scorre con rapidità estrema sui corpi buoni conduttori al pari dell'elettrico (§. 1339), e li prescegne sempre nel suo passaggio (§. 1341); essa è luminosa (§. 1455); è attratta in silenzio dalle punte metalliche e da quelle di altri corpi deferenti (§. 1224); infiamma (§ 1444 al §. 1447), fonde, volatilizza, ossida (§. 1449) e squarcia (§. 1424) le materie poco conduttrici che invade, magnetizza i ferri ed altri corpi al pari dell'elettrico (§. 1511 e 1608); uccide gli animali senza lasciare segni di ferita (§. 1486), e produce il *contraccolpo elettrico* (§. 1278). Quando la folgore cada sopra un terreno arido ed arenoso, e sia obbligata a transitare per un conduttore ristretto ed angusto per giungere agli strati umidi e disperdersi per essi sulla superficie terrestre, fonde le materie per cui trascorre, che si riconsolidano poscia in masse formando i *tubi fulminari* o le *folgoriti*. Alla caduta della folgore si spande nell'aria circostante un odore somigliante a quello del solfo abbruciato, nel quale Schönbein ha creduto di ravvisare la presenza di un nuovo corpo detto da lui *ozono*, reso libero dall'azione elettrica. Egli appoggia la sua idea su diverse sperienze istituite colle ordinarie batterie elettriche (1).

Si suole nella scuola dare un'idea degli effetti della folgore coll'apparato della *casa del fulmine* (fig. 527). Rappresenta una casa di legno verniciato, su cui s'innalza la verghetta d'ottone *ca*, rotondata nella parte inferiore e superiormente terminata in un globetto *a*. Si dispone a qualche centimetro di distanza dal piattello *d* ad orlo incurvato al di dentro e sospeso col gancio *c* alla verga piantata sul conduttore della macchina elettrica. Al di sotto dell'estremità *e* corrisponde altro piatto metallico, su cui si colloca un fiocco di cotone involto di polvere di colofonio, che mediante la catenella *fg* comunica coll'armatura esterna d'una o più bocce di Leida, che fanno parte del conduttore della macchina. Facendo girare il disco e lasciando sull'apparato la punta *b*, l'elettrico viene assorbito e trasmesso per essa al suolo; ma tosto che si leva la punta *b*, la macchina si carica e raggiunge la tensione bastante a balenare una scintilla fra l'intervallo *ad* e ad accendere il colofonio col cotone.

Il *lampo*, che accompagna la folgore, è la grande scintilla somigliante a quella che si ottiene coll'elettrico ordinario (§. 1290). Il lampo è più o meno serpeggiante secondo la disposizione delle

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. v, pag. 165; t. ix, 263; t. xiv, 290; t. xv, 58, 61, 178 e 197, e t. xix, 284.

masse vaporose, lungo le quali trascorre il torrente fulmineo e secondo altre circostanze (§. 1294)

Il *tuono* poi, od il fragore che segue lo scoppio del fulmine, risulta egualmente dall'aria, come nelle scariche elettriche (§. 1295). Talvolta havvi lampo senza tuono per la ragione che il passaggio della sostanza fulminea succede lungo masse vaporose abbastanza capaci di condurlo senza solcare e rimuovere l'aria Arago, nell'*Annuario* del 1838, riferisce che *in alto mare e nelle isole non tuona mai al di là del 75 grado di latitudine nord, e che al 70 il fenomeno accade assai di rado e soltanto al più una volta all'anno* Baer però riporta dei fatti pei quali il limite del tuono si estenderebbe a maggiore latitudine (1).

1725. Essendo indubitato che la folgore si compone di un ammasso di fluido elettrico, si comprende facilmente come essa colpisca sempre gli alti edifizi, i campanili, le statue o le croci piantate sui comignoli delle chiese e sulla sommità delle torri, gli alberi delle navi, le piante d'alto fusto, ed in generale i corpi che si elevano nell'atmosfera sugli oggetti circostanti. Si comprende altresì come trascorra ed intacchi di preferenza le materie migliori conduttrici Durante i temporali si può evitare d'essere colpiti da sì terribile meteora collocandosi in un luogo della casa discosto da corpi metallici, come quadri dorati, porte ferrate, piombi d'invetriate, inferriate e simili, e ponendosi a sedere sopra una vecchia seggiola di legno senza ferri o sopra cuscini di piuma o di lana coi piedi sollevati dal pavimento. Si starà distante anche dal cammino, la cui rocca elevandosi sul tetto è a preferenza colpita dal fulmine. In aperta campagna poi bisogna guardarsi bene di non ricovrarsi sotto gli alberi, vicino ai campanili e simili, che sono sempre preferiti dal torrente fulmineo nel mettersi in equilibrio. Ma a togliere qualunque timore è bene di erigere sulla casa il *parafulmine*.

Il *parafulmine* è composto di una grossa spranga di ferro acuminata all'estremità superiore e piantata sull'edifizio, e d'una treccia a due fili di rame della grossezza ciascuno di 5 in 6 millimetri La treccia s'attortiglia per qualche metro alla spranga elevata sull'edifizio e si fa discendere lungo il muro per alcuni metri dentro gli strati umidi del suolo o meglio nell'acqua d'un pozzo La folgore, cadendo sulla casa, prende la via della spranga e pel conduttore di rame si mette in equilibrio nella vastità della superficie terrestre Ciò avviene per la *folgore discendente*, ma talvolta la nube è elettrizzata negati-

(1) *Annali di fisica* t. v. pag. 262.

vamente ed ha luogo la *folgore ascendente*. In questo caso l'elettrico, che la nube attrae dalla terra, prende la via del conduttore metallico del parafulmine, senza portare nessun nocumento alla casa ed alle persone da cui è abitata. È necessario che il parafulmine sia diretto nel suo collocamento da persone intelligenti conoscitrici delle proprietà dell'elettrico (1).

Ad imitazione dei parafulmini si era pensato ai *paragrandini*, nell'ipotesi che nella formazione della gragnuola avesse parte l'elettrico (§. 1718). Ma anche in tal caso i così detti paragrandini riuscirebbero insufficienti a spogliare le nubi e, quando il fulmine scoppia, la gragnuola è già formata. I parafulmini al contrario hanno mostrato la loro efficacia: a Zurigo, a Milano ed in molte città italiane ed estere sono innalzati gli apparecchi preservatori della più terribile delle meteore, e gli edifizi non furono mai danneggiati dalla folgore unitamente alle persone che vi abitano.

1724. Interessa di conoscere se la folgore sia ascendente o discendente: a tal fine si presta il re-elettrometro (§. 1534), il cui filo si congiunge da ambedue le estremità colla spranga del parafulmine eretto sulla specola meteorologica. Beccaria ha immaginato un apparato per lo stesso scopo, detto da lui *ceraunografo*, che è descritto nella lettera del 1780 diretta al conte Prospero Balbo, e che fa conoscere eziandio l'ora in cui la folgore ha scoppiato. Consiste l'apparato in una zona di carta, disposta in maniera da essere attraversata dal torrente fulmineo nel mettersi in equilibrio lungo il parafulmine. Le bave, lasciate all'intorno del foro fatto nella carta, danno indizio della direzione della folgore, la quale sarà discendente se sono rivolte verso il basso della carta, ed ascendente se verso l'alto (§.1426). Facendo muovere la zona circolare con un ordigno d'orologeria in modo che compisca l'intero giro in 24 ore, il foro indicherà l'ora dello scoppio.

1725. Allorquando il cielo è ingombro di nubi temporalesche molto basse, appariscono durante la notte delle fiammelle della figura di stelletta o di fiocco all'intorno della punta degli alberi delle navi, delle croci e dei ferri piantati sui campanili e sulle chiese e sopra

(1) Un parafulmine, consistente nella spranga metallica e nella treccia a due fili di rame della lunghezza di 20 metri e nelle cose accessorie per la sua erezione, costa non più di 100 lire. Chi bramasse ulteriori notizie sul collocamento e sulla disposizione ecc. del medesimo, può consultare l'opuscolo di Melocchi: *Istruzione teorico-pratica sui parafulmini*. Milano 1826; di cui, essendo esaurita l'edizione, si pubblicherà quanto prima una seconda rifusa e migliorata.

altri conduttori elevati in comunicazione col suolo. I popoli antichi ne traevano buoni o cattivi augurii pei viaggi marittimi secondo che si manifestavano una o due fiammelle. Supponevano poi Elena causa dell'infortunio, ed i fratelli di lei Castore e Polluce protettori dei navigli; talchè denominarono il fenomeno Elena quando scorgevano una sola fiammella, e Castore e Polluce due. I marinai cristiani lo chiamarono poscia stelle di s. Elmo per la divozione che avevano a questo vescovo siciliano. Da tali superstizioni ebbe origine il nome di *stelle di s. Elmo* ossia *Castore e Polluce*, dato anche oggidì a quell'apparenza luminosa.

Plinio l'osservò sulle punte delle picche dei soldati in sentinella, e risguardò il fenomeno come un mistero della natura. Le superstizioni svanirono all'epoca della scoperta dell'elettricità atmosferica e dell'azione delle punte metalliche in presenza di corpi elettrizzati. Ora è fuori di dubbio che tutti quei corpi acuminati in comunicazione col suolo assorbono o trasmettono l'elettrico alle nubi sovrastanti, manifestando la stelletta o il fiocco luminoso nell'oscurità della notte, nello stesso modo delle punte avvicinate al conduttore della macchina elettrica (§. 1224).

1726. Si scorgono talvolta nell'oscurità dei punti luminosi all'estremità dei capelli delle persone mentre vengono pettinate, e della criniera dei cavalli al momento che si stregghiano; come pure compariscono delle fiammelle aderenti al dorso delle persone e sulla superficie d'altri corpi che sono stropicciati: queste apparenze luminose furono distinte col nome di *fuochi lambenti*. Esse sono l'effetto dell'elettrico sviluppato in ogni caso collo stropicciamento nella stessa guisa delle sperienze di Symmer e di Cigna (§. 1318) e di quelle istituite coi gatti ed altri animali (§. 1236).

1727. Non bisogna confondere i fuochi lambenti con fenomeni consimili prodotti da altra causa. La qualità degli alimenti degli uomini e d'altri animali può far nascere nei loro intestini del gas idrogeno perfosforato, che si accende venendo al contatto dell'aria (§. 732): è in causa di tal fluido che appariscono talvolta delle fiammelle al momento che si aprono dei cadaveri, e che ne videro aderenti al loro corpo due coniugi di Milano nel destarsi in letto. La storia della medicina riferisce d'altronde parecchi fatti somiglianti.

I corpi sotterrati nei cimiteri e le materie in macerazione nelle paludi danno luogo, sotto l'azione chimica, alla formazione dello stesso gas, il quale si fa strada attraverso il soffice terreno e l'acqua, passa a galleggiare nell'atmosfera abbruciando lentamente sotto l'ap-

parenza di quei lumi ambulanti detti *fuochi fatui*. Essi errano qua e là a seconda dei moti dell'atmosfera, per cui spesso inseguono chi li fugge in virtù della corrente d'aria che si genera nel verso della persona che corre, e per l'opposta ragione sfuggono chi l'insegue. Gli Enciclopedisti francesi negavano la temperatura incandescente di quelle fiammelle; ma i fisici moderni le ritennero come il risultato di vere combustioni, la quale sentenza è stata messa fuori di dubbio da Filopanti accendendo delle materie poste al contatto di quei fuochi ambulanti (1).

1728 Nelle notti serene si vedono sovente dei corpi luminosi della grandezza di stelle ordinarie, che percorrono rapidamente dei lunghi spazi nell'atmosfera e, sembrando precipitare sulla terra, lasciano talvolta una debole traccia lucida dietro di sè, che ben presto sparisce unitamente ad essi. Queste meteore si conoscono sotto il nome di *stelle cadenti*. Siccome prendono eziandio delle direzioni differenti dalla gravità, così si chiamano da alcuni *stelle scorrenti*, e per la striscia luminosa lasciata dietro di loro anche *stelle filanti*. Il fenomeno attrasse l'attenzione dei fisici in questo secolo, dopo che Humboldt ne osservò a Cumana un gran numero nella notte dell'11 al 12 novembre 1799. Si videro nel medesimo tempo nella Gujana, nel Labradoro, nella Groenlandia ed in alcuni luoghi d'Europa, dove Brandes nella notte del 6 al 7 dicembre 1798 ne contò 480. Si vuole che l'epoca della maggior comparsa della meteora sia principalmente nelle notti dal 10 al 15 novembre, e in quelle dal 10 al 15 agosto. Si videro molte stelle cadenti nel trascorso secolo, ed Hemmer fu colpito dal loro numero nella notte dal 9 al 10 novembre 1787. Ma, come si disse, il fenomeno attrasse l'attenzione dei dotti principalmente nel corrente secolo. Nobile a Napoli ne ha contato 158 nell'intervallo di 2 ore durante la notte del 10 all'11 agosto 1842, e nel giorno precedente a ragione di 40 per ora (2). Colla le ha osservate a Parma in diverse epoche, e il fenomeno è parecchie volte mancato in Italia, Svizzera, Francia e Belgio all'epoca fissa dal 10 al 15 novembre (3). Quetelet da ragguaglio delle stelle cadenti vedute a Brusselle fra il 9 ed il 12 agosto 1842, avendone contate 5 all'ora nella notte

(1) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. III, pag. 30.

(2) *Annali di fisica ecc.* più volte citati, t. V, pag. 292.

(3) I detti *Annali*, t. V, pag. 59. Intorno alla comparsa del fenomeno in Italia e principalmente nelle Due Sicilie si possono vedere i due opuscoli del succitato Nobile. *Memoria sulle stelle cadenti*. Napoli 1838. — *Modo di determinare le differenze delle longitudini geografiche per uso delle stelle cadenti*. Napoli 1840.

dal 10 all'11; dà altresì ragguaglio delle comunicazioni ricevute da parecchie città d'Italia ed altre parti d'Europa (1). Berbanti, meccanico della R. Specola di Torino, imaginò un apparecchio a riflessione per osservare con comodità il fenomeno senza dovere stare cogli occhi rivolti verso l'alto, e per determinarne eziandio graficamente la direzione (2).

Un vero diluvio di stelle cadenti si osservò nel novembre del 1833 in America. I giornali degli Stati Uniti erano pieni delle descrizioni di tali meteore, che si videro da Boston al *N. E.* sino a Richmond nella Virginia al S. Un abitante di Nuova-Jersey alle 5 ore del mattino 13 novembre fu svegliato dalla figlia, la quale atterita gli diceva che imperversava una pioggia di fuoco somigliante a caduta di stelle. Egli racconta d'averne osservato un numero sì grande da non poterlo contare, di differente volume e colore. Alcune si mostravano con un aspetto rosso, altre azzurro, giallo, bianco: quelle di colore rosso ed azzurro sembravano cadere con maggior velocità ed essere più splendenti. La loro caduta avveniva sotto differenti inclinazioni quasi come i fiocchi della neve; ma il loro movimento era rapido e la luce fuggitiva, che scompariva ad 1 in 2 metri dal suolo. Ne vide alcune colpire degli oggetti elevati, senza averne riconosciuto vestigia. Parecchie caddero ad $^1/_3$ di metro da lui, e gli sembrò che una gli toccasse il volto. Le più voluminose scoppiavano ad altezze considerevoli, lasciando dietro di sè una nube azzurrognola simile a nebbia, che si dissipava lentamente. Il giornale *New-York-Americano*, nel dar notizia di tali fenomeni, osserva d'esserne stati veduti il 12 novembre 1799 dal capitano Elliot navigando da S. Domingo a Filadelfia.

Arago, dando ragguaglio all'Accademia di Francia di quella sorprendente meteora collo scritto pubblicato poscia nell'*Annuario* del 1836, aggiunge di non vedere altra maniera per ispiegarla se non col supporre che, oltre i grandi pianeti, girino intorno al sole dei bilioni di piccoli corpi, i quali diventino visibili al momento che entrano nella nostra atmosfera dove s'infiammano. Questi asteroidi si muovono a gruppi, ed alcuni di essi sono isolati. Dalla sua comunicazione risulta che furono veduti anche nell'America meridionale, dal golfo del Messico sino ad Halifax, dalle 5 ore pomeridiane sino al seguente levare del sole, ed in alcuni luoghi a giorno chiaro alle ore 8 del mattino. Queste meteore sembravano tutte provenienti dalla costel-

(1) I medesimi *Annali*, t. XIV, pag. 174.
(2) Gli stessi *Annali*, t. X, pag. 60.

lazione del Leone. Essendo il fenomeno durato più di 7 ore ed avendo un americano annoverato più di 650 stelle cadenti in una sola parte del cielo, Arago fa ascendere quelle visibili a Boston almeno a 240 mila. Il celebre segretario dell'Accademia aggiunge altresì in nota che Bérard, ufficiale di marina, ha veduto sulla nave il *Loiret* in alto mare il 13 novembre 1831, alle ore 4 del mattino, un numero considerevole di stelle cadenti e di meteore luminose, di grande dimensione, e per più di 3 ore ne comparvero 2 ogni minuto. Arago conchiude con queste parole: *In tal guisa confermasi l'esistenza d'una zona composta di milioni di piccoli corpi, le cui orbite incontrano il piano dell'eclittica verso il punto in cui la terra ogni anno passa ad occupare dal giorno 11 al 13 novembre.* Dall'esame di Humboldt risulterebbe che il fenomeno è accaduto invariabilmente dal 1799 al 1848, e che avvenne anche nel 1849 nelle parti della terra da dove riesce visibile (1). Il professore Olmstel, nella Memoria riportata per estratto dalla *Rivista Britannica* fascicolo di luglio 1836, dà ragguaglio delle stelle cadenti comparse negli anni successivi al 1833, ed opina pure che una nube meteorica, composta d'un prodigioso numero di stelle cadenti, circoli intorno al sole come i pianeti e si avvicini molto alla terra con un punto della sua orbita che corrisponde al mese di novembre. Ecco dunque un nuovo mondo planetario, che incomincia a manifestarsi. Le poche stelle cadenti, che appariscono in altri mesi dell'anno, dovrebbero dunque essere considerate come provenienti da quella zona asteroidica ed erranti nello spazio, come sono quelle osservate da Walker nell'aprile del 1841 a Filadelfia, le altre vedute nell'agosto, e le poche che si osservano in altri mesi dell'anno (2). Gli asteroidi sarebbero soggetti infatti alla gravitazione, tendendo essi a dirigersi verso qualche nube, che in vicinanza sia vagante nell'atmosfera (3).

Per l'addietro si ritenevano le stelle cadenti un fenomeno elettrico, per cui alcuni opinarono che la loro comparsa fosse simultanea coll'aurora boreale (4).

1729. Le meteore, chiamate *globi di fuoco* o *cervi volanti* per la figura che prendono, sono da riguardarsi fenomeni della stessa origine delle stelle cadenti. Di tale specie sembrerebbe il globo di fuoco,

(1) I mentovati *Annali*, 2ª serie, t. i, pag. 151.

(2) I suddetti *Annali*, 1ª serie, t. x, 235; t. xi, 262; t. vii, 245; t. ix, 300; t. xii, 165; t. xiii, 430; t. xvii, 453; t. xix, 284, e t. xx, 44.

(3) I medesimi *Annali*, t. xxiv, pag. 452.

(4) Gli stessi *Annali*, t. ii, pag. 252, e t. iii, pag. 52.

di cui fu spettatore Moreau nel dipartimento della Dordogna la notte del 24 al 25 agosto 1843, ed alcuni apparsi nel giugno 1850 a diverse persone (1). Beccaria descrive l'egual fenomeno da lui veduto nell'agosto del 1753, mentre trovavasi a villeggiare presso il signor Monticelli a due miglia da Saluzzo nelle campagne di S. Fermino (2).

1730. Dalle ultime meteore sembrano differire quei globi infiammati, che appariscono nell'atmosfera e si chiamano *bolidi*: imperocchè questi raggiungono nella loro caduta la terra, mentre i primi si consumano e si disperdono allo stato aeriforme nell'atmosfera. Il bolide è un globo luminoso dell'apparenza più o meno grande della luna piena, che solca celeremente l'atmosfera con una velocità forse di 70 chil. al minuto (3), spandendo della luce come i fuochi d'artifizio. Talvolta si divide in più parti, ciascuna delle quali forma un piccolo bolide. La meteora è seguita da un cupo rumore simile al rimbombo dello sparo del cannone, e spande alle volte delle faville di fuoco, che si spegnono ben presto nell'aere.

Si è scoperto che i bolidi sono seguiti dalla caduta di pietre chiamate *areoliti*, *meteoroliti*, *uranoliti* o *pietre della luna*. Sembra che abbiano origine da qualche pianeta spezzato, già esistente fra Marte e Giove, e ciò al pari dei piccoli pianeti scoperti in questo secolo, di cui parleremo e che riescono visibili soltanto coi più potenti telescopi (§. 385). Le pietre meteoriche, essendo soggette alle forze attraenti dei diversi corpi celesti, potrebbero nel loro passaggio per l'orbita della terra entrare nella sfera d'azione di questo pianeta e cadere su di essa. Olbers e dopo di lui Laplace le ritenevano lanciate dai vulcani della luna verso la terra; ma a tale ipotesi si sono mosse delle gravi obbiezioni. Ad ogni modo, nel cadere verso la terra con sempre crescente velocità (§. 247), premerebbero vieppiù l'aria da cui si emetterebbe successivamente nuovo calorico (§. 1147), il quale, unitamente a quello nato nello sfregamento contro l'aria stessa (§. 1154), diverrebbe capace di accenderne le parti combustibili presentando l'apparenza del bolide.

Chladni ha esteso un numeroso elenco di pietre cadute dal cielo il quale è stato di molto accresciuto dai dotti posteriori, ed oggidì si contano più d'un migliaio di areoliti, di cui è ben constatata la caduta e provenienza. Due caduti nel 1843, uno nel 1847 e due altri

(1) I detti *Annali*, t. XXIV, pag. 72; XXI, 466, e 2ª serie, t. III, p. 445 e IV, 177.
(2) *L'elettricismo atmosferico*. Bologna 1758, pag. 144.
(3) I precitati *Annali*, 2ª serie, t. I, pag. 183.

nel 1849 furono registrati negli *Annali di fisica* ecc. da me diretti (1), ed un altro nel giorno 17 luglio 1840 nei dintorni di Casalmonferrato che si conserva nel R. Museo di Torino, che venne analizzato dal professore Lavini e che presentò anche a Milano tutti i fenomeni del bolide (2). In quest'ultima città ne comparve un altro nel giorno 17 luglio 1835, il quale fu veduto in molti altri luoghi dell'Italia settentrionale (3). Importante è pure il bolide descritto da Capocci e veduto nel 13 novembre 1849 a Napoli ed a Palermo ed in quasi tutta l'Italia meridionale. Il rumore che accompagna la meteora, fu sentito parecchi minuti dopo la comparsa della luce. La linea tortuosa, osservata alla specola della prima città, sembra dovuta alla reazione dei gas formatisi nella combustione; giacchè, secondo riferisce Capocci, la striscia luminosa si convertì in fumo, che riuscì visibile per ben mezz'ora (4). Quest'aerolite, al pari d'altri, coinciderebbe coll'epoca dell'apparizione delle stelle cadenti (§. 1728). I componenti principali di quei corpi sono i silicati terrosi, il ferro, il solfo, il nicolo Il ferro d'ordinario predomina, ed è per ciò che nel trascorso secolo Pallas descrive degli areoliti caduti in Siberia sotto il nome di *ferro meteorico*. Non è inverosimile che queste meteore, giungendo sulla terra allo stato incandescente, abbiano prodotto degli incendi (5).

1731. La meteora mirabile pel vario suo splendore e per la sua durata è l'*aurora boreale* Essa consiste in una luce brillante che comparisce verso il settentrione, si estende nello spazio dell'atmosfera e rimane visibile ben anche per una e più ore. Una massa cenerognola, che sembra poco distante dall'orizzonte, serve di base alla meteora. Quella specie di nube è circondata da un arco splendente di luce bianca o rossa, da cui ad intervalli irrompono dei raggi e delle piramidi luminose, che si spandono in tutte le direzioni e si disperdono ad una notabile distanza, comparendo talvolta lo splendore sino allo zenito dell'osservatore. Nella Lapponia e in tutti i paesi vicini al polo artico il fenomeno è molto frequente e brillante; su di che si possono

(1) T. XII, pag. 177, e t. XXIX, 179; come pure 2ª serie, t. II, pag. 130

(2) I detti *Annali*, 1ª serie, t. II, pag. 10.

(3) *Annali* succitati, t. XXIV, pag. 143. Per altro bolide caduto in Lombardia sul territorio di Crema, si vegga il *Giornale di fisica* ecc. di L. Brugnatelli, decad. II, t. I, 1818, pag. 112, e per alcuni bolidi apparsi in Italia, la lettera di Paoli nel detto tomo del Giornale di Brugnatelli, pag. 236.

(4) I suddetti *Annali*, 2ª serie, t. II, pag. 73.

(5) I medesimi *Annali*, 1ª serie, t. XI, pag. 271

vedere le osservazioni fatte da Bravais negli anni 1838 e 1839 (1). Si dispiega sull'orizzonte in modo imponente coll'apparenza d'una immensa conflagrazione anche in paesi meno settentrionali, come ha osservato Herschel a Londra (2). Nei nostri paesi apparisce assai di rado ed è piuttosto languida. Al polo antartico si gode pure lo spettacolo d'un somigliante fenomeno, ma i viaggiatori accertano ch'esso non è così maestoso e brillante come verso il polo artico. Zanotti e Beccari assicurano però che ne furono osservate a Bologna ed in altri luoghi d'Italia circa 88, dal 1727 al 1751, ed una è descritta da Poleni veduta a Padova (3). Essendosi vedute alle volte delle stelle cadenti all'apparizione dell'aurora boreale, se ne deduce l'esistenza di qualche relazione fra i due fenomeni e la periodicità di questa come delle altre (4).

Dopo che gli studi sull'elettricità si estesero, le antiche ipotesi furono abbandonate e si ritenne l'aurora boreale un fenomeno elettrico, tanto più che Morozzo ebbe segni sensibilissimi all'elettrometro da quella comparsa a Torino nel 29 febbraio 1780 (5), e Volta riscontrò pure una forte elettricità al condensatore come dice Rozier nel suo giornale. Brewster inoltre racconta di stelle di S. Elmo sulla punta della croce d'un campanile durante l'aurora boreale *(Edimburg Journal of sciences*, T. IX, pag. 75). Beccaria principalmente coltivò tale congettura nelle sue *Lettere sull'elettricismo* (Bologna 1758, pag. 272), scorgendo la somiglianza che ha colla luce elettrica nell'aria rarefatta (§. 1440 e 1441). Essa acquistò ancor maggiore probabilità alla scoperta dell'elettro-magnetismo, sapendosi che l'ago calamitato prova delle perturbazioni alla comparsa dell'aurora boreale (§. 1620). L'esperienza poi riportata al §. 1589 ha indotto De-La-Rive a riavvicinare sotto un nuovo punto di vista il fenomeno (6). Consisterebbe in un'eruzione d'elettrico che dall'azione magnetica del globo è portato in circolazione nell'atmosfera condensandosi verso il polo magnetico terrestre, come nella sperienza succitata; ed è da di là che sembra elevarsi in colonna ruotante di cui esso è la base. Slatter deduce dalle sue osservazioni che le strisce luminose sono parallele fra loro ed

(1) Gli stessi *Annali*, t. XXIII, pag. 465.

(2) I citati *Annali*, t. XIII, pag. 430.

(3) *Sopra l'aurora boreale* Padova 1737. L'aurora del 17 novembre 1848 fu veduta anche nell'Italia settentrionale (2ª serie degli *Annali*, t. II, pag. 20).

(4) I mentovati *Annali*, t. II, pag. 263.

(5) *Memoria della R. Accademia*, t. II, pag. 528.

(6) *Annali di fisica ecc.*, seconda serie, t. II, pag. 172, e t. IV, pag. 495.

alla superficie terrestre (1), la cui convergenza dipende dalle leggi ottiche (§. 907). Servirebbero d'appoggio a tale correlazione il rumore, che si sente alla comparsa dell'aurora boreale e che Necker di Saussure paragona a quello del grano vagliato con pala (2).

1732. A compimento della meteorologia ci resta a parlare delle *meteore lucide* (§. 1657), le quali consistono in altrettanti *fenomeni ottici*, che si osservano nell'atmosfera. L'*azzurro del cielo*, che si scorge nei giorni sereni, dipende dalla facoltà assorbente dell'aria pei raggi luminosi bianchi e colorati (§. 830 e 900), come pure dalla facoltà polarizzatrice della medesima (§. 857). Il colore è modificato dalle tre tinte, l'*azzurro* riflesso dalle molecole aeree; il *nero* della volta celeste, il quale forma il fondo dell'atmosfera, ed infine il *bianco* riflesso dalle vescichette vaporose sparse nella medesima. Allorquando c'innalziamo sul suolo, lasciamo in gran parte dei vapori al disotto ed i raggi bianchi giungono all'occhio in minor numero, per cui l'azzurro diventa più carico essendo meno dilavato dalla luce bianca. È per la stessa ragione che in vicinanza all'orizzonte l'azzurro riesce meno intenso che allo zenito, mentre comparisce in ogni caso più puro quando l'atmosfera è sgombra di vapori per un vento asciutto.

1733. Durante un certo tempo avanti il nascere e dopo il tramontare del sole, una luce diffusa e tranquilla rischiara l'alto dell'atmosfera e l'orizzonte, e dà luogo al fenomeno del *crepuscolo mattutino* o del *vespertino*. In ambidue i casi il sole, quantunque nascosto sotto l'orizzonte, lancia i raggi luminosi nelle regioni elevate dell'atmosfera, i quali, nel passare per un mezzo di diversa densità (§. 640), vengono successivamente piegati per rifrazione (§. 792) nel transitare per istrati d'aria sempre più densi, ne sono in parte riflessi (§. 773) e giungono diffusi in ogni direzione all'occhio dello spettatore sulla terra generando il crepuscolo.

All'incominciare del crepuscolo mattutino, i raggi solari entrano nell'aria diradata delle regioni superiori dell'atmosfera, da cui per riflessione producono allo zenito il bianco splendore che si chiama *alba*. A misura che il gran luminare si avvicina all'orizzonte, i raggi luminosi attraversano degli strati aerei più densi, ed i più rifrangibili ne sono dispersi, e rimangono per ciò dominanti i raggi rossi e gialli, ed una luce rosseggiante precede così la comparsa del gran

(1) Gli stessi *Annali*, seconda serie, t. I, pag. 286.
(2) La prima serie degli *Annali*, t. II, 286.

luminare sull'orizzonte che costituisce l'aurora ed il termine del crepuscolo mattutino. Nel crepuscolo vespertino ha luogo all'inverso, ed il tramonto è seguito dalla luce rossa, che va sempre più perdendo del suo colore e diradandosi, sinchè si spegne del tutto e lascia la terra immersa nelle tenebre.

1734. Senza l'atmosfera non si avrebbe dunque il crepuscolo, e dallo splendore del giorno si passerebbe ad un tratto nell'oscurità della notte. I crepuscoli aumentano al crescere l'obliquità del cammino del sole, cioè i paesi più vicini al polo hanno anche i crepuscoli più lunghi. Alla media latitudine, come è la nostra, il più breve crepuscolo, negli equinozi di primavera e d'autunno, dura 1^{ora} 40', ed il più lungo avviene nel solstizio d'estate essendo di 2^{ore} 32, talchè unendo il mattutino col vespertino abbiamo 5^{ore} 4' di crepuscolo. A 48° ½ di latitudine, come è Parigi, il massimo crepuscolo dura tutta la notte, vale a dire nel solstizio d'estate si uniscono assieme quello della mattina con l'altro della sera. A Pietroborgo, alla latitud. di quasi 60°, il minimo crepuscolo dura 2^{ore} 21' e la notte intera è rischiarata per mesi 4 cioè dal 21 aprile al 21 agosto. A Tornea, che è posto a quasi 66°, il crepuscolo più corto è di 2^{ore} 54' e per mesi cinque, cioè dal giorno 5 aprile al 5 settembre la notte è intieramente rischiarata dalla luce crepuscolare. Nel solstizio d'estate non passa nemmeno un'ora fra il tramontare ed il levare del sole, ed in tal tempo la maggiore oscurità eguaglia quella che si ha fra noi ½ d'ora dopo il tramonto. Se vi fossero abitatori al polo, la loro condizione d'avere quasi 6 mesi di notte continua sarebbe raddolcita dal crepuscolo di circa mesi 1 ½ di durata prima del levare e dopo del tramontare del sole.

1735. Trovandosi avanti di noi una nube che si scioglie in pioggia ed è illuminata dal sole cui si è rivolto il dorso, apparisce nell'atmosfera quell'arco vario pinto come lo spettro prismatico (§. 807), il quale si chiama *arco baleno* od *iride*. I raggi solari, essendo riflessi e rifratti dalle gocce di pioggia, ne emergono divisi nei loro elementi colorati e danno luogo al fenomeno ottico. Sia A la sezione della goccia liquida fatta pel centro (fig. 528) ed Sb un raggio luminoso, il quale nell'entrata è rifratto secondo *bc* (§. 770) ed in c riflesso nella direzione *cd* (§. 775), dove, sortendone, subisce la seconda rifrazione e perviene all'occhio O dello spettatore. Siccome i raggi elementari sono dotati di differente rifrangibilità (§. 808), così la luce bianca si decompone ne' suoi elementi e genera nell'occhio i colori dello spettro (§. 807). La riflessione in c sarà parziale o totale secondo che

il raggio *bc* ha un'inclinazione incidente minore o maggiore dell'angolo limite (§. 773). D'altronde l'angolo del raggio in *c* varia da 90° a 0°, vale a dire dalla direzione parallela al piano d'incidenza a quella normale, che passa pel centro della goccia, per cui ne emergono per ogni verso e riescono visibili i raggi solari in tal modo riflessi e rifratti. Vi ha però una posizione ove si distingue il fenomeno per lo splendore, ed è quella ove i raggi emergenti *d* vengono paralleli, essendo allora le imagini situate le une accanto alle altre in maniera da formare una regione rischiarata. Col calcolo si determinano le condizioni necessarie a tal effetto, e si trovano parecchie posizioni, in cui si possono vedere diverse imagini lucide, di cui due si riconoscono alla maggior chiarezza e danno luogo al fenomeno. Le gocce si succedono l'una all'altra, e l'arco baleno non riesce intermittente. Essendo poi il raggio rosso il meno ed il violaceo il più rifrangibile, il lembo superiore dell'iride è di color rosso e l'inferiore violaceo, trovandosi occupato lo spazio intermedio dagli altri colori. Col calcolo si stabilisce l'ampiezza dell'arco baleno dedotta dal grado di rifrangibilità dell'acqua per ogni elemento colorato (§. 843). Il fenomeno apparisce eziandio osservando le gocciole d'acqua d'una cascata illuminate dal sole posto di dietro allo spettatore.

Accade alle volte, che i raggi ne emergono dopo aver subì o due o più riflessioni (§. 775), dando nascimento ad una o più *iridi secondarie*, che si distinguono dalle *primarie* per la minor vivacità dei colori e per l'ordine con cui sono disposti. Si presentano altresì delle *iridi soprannumerarie* o *supplementarie*, nelle quali i colori si succedono con diverso ordine o si ripetono. Queste anomalie si attribuiscono da qualche fisico all'interferenza (§. 825), mentre secondo Venturi sarebbero dipendenti da gocce, che si schiacciano nella parte inferiore durante la caduta. Le gocce sferiche generano l'iride primaria e quelle schiacciate la supplementare, per cui, se le gocce non hanno la stessa dimensione in causa dello schiacciamento, allora può aver luogo la ripetizione dei colori.

1736. La luce del sole e di altri astri, cadendo sui vapori allo stato vescicolare o condensati in piccoli aghi prismatici e trasparenti come quelli della neve, dà nascimento ad alcuni fenomeni ottici, che verremo brevemente dichiarando.

Allorquando il cielo è coperto di lievi nubi o di nebbia, apparisce sovente intorno alla luna ed al sole un cerchio colorato, in cui domina un colore composto dei raggi meno rifrangibili. Talvolta sono parecchi cerchi concentrici separati da intervalli verdognoli. Il feno-

meno è designato col nome di *corona solare* o *lunare*, e sembra prodotto dall'interferenza della luce pei vapori vescicolari (§. 828). I raggi più rifrangibili, incontrando la superficie emergente delle vescichette molto obliquamente in maniera d'avere l'incidenza maggiore dell'angolo limite, ne saranno riflessi (§. 773), e soltanto gli altri raggi perverranno allo spettatore componendo il colore giallognolo della corona. La luce troppo vibrata del sole impedisce spesso di scorgere direttamente il fenomeno, per cui si osserva mediante una lastra di vetro affumicato o per riverbero di cattivi riflettori, mentre la corona lunare si scorge direttamente senza verun aiuto. Guardando la fiamma d'una candela a traverso il vapore, che esala da acqua in ebollizione, oppure a traverso una lastra di vetro sparsa di gocciole d'acqua, apparisce intorno alla medesima una corona, che dà l'idea del fenomeno della natura.

1737. Gli *aloni* sono zone luminose, che appariscono pure intorno al sole ed alla luna, ma che per la disposizione dei cerchi, pei loro colori e per la loro origine sembrano differire dalle corone, quantunque comunemente i due fenomeni siano presi l'uno per l'altro. L'alone sarebbe l'effetto della sola rifrazione dei raggi luminosi a traverso i piccoli cristalli di neve natanti nell'atmosfera. Uno dei più semplici è l'alone solare osservato da Bravais a Piteo nella Svezia il giorno 4 ottobre 1839, e rappresentato nella fig 529. Gli archi allo zenito offrono i colori dell'iride occupando in ciascuno il violaceo il lembo superiore ed il rosso l'inferiore, ciò che non si ravvisa nell'alone ordinario che circonda il sole coll'arco ad esso tangente. Talvolta quegli archi sono in numero molto maggiore, e gli aloni così formati non appaiono forse mai in queste regioni del globo, ed è assai rado il descritto

Gli aloni sono sovente accompagnati dalle imagini del sole o della luna, fenomeni che nel primo caso dicesi *parelio* e nel secondo *paraselene*. Queste imagini si mostrano sempre all'orizzonte alla stessa altezza dell'astro reale, e si riuniscono fra loro dal cerchio bianco.

1738. Alla categoria di questi fenomeni appartiene l'*antelio*. Quando il sole splende vicino all'orizzonte e l'ombra dello spettatore cade sopra un prato coperto d'erba od un campo di stoppia; egli scorge principalmente intorno alla testa un'aureola luminosa assai viva. Kaemtz sulle Alpi ha avuto occasione d'osservare l'antelio intorno alla testa della sua ombra proiettata sopra una nube. Scoresby ha riscontrato il fenomeno nelle regioni polari ogni volta che il sole splendeva durante la nebbia. Allorchè uno strato di nebbia poco folta

si appoggia sul mare e s'innalza da 90 in 100 metri, un osservatore, salito sull'albero di trinchetto a 25 in 30 metri sopra il livello delle acque, scorgeva uno o più cerchi sulla nebbia. Questi cerchi sono concentrici e colorati come gli anelli, che si manifestano nella diffrazione (§. 828), da cui dipende il fenomeno. Il P. Minasi fa pure menzione di un antelio: imperocchè nello scendere da una valle arenosa ed umida vide dipinta la sua imagine e quella del compagno sopra dei vapori che gli stavano di contro (1). Il marchese Ruffo ed il naturalista Monticelli ebbero l'occasione di riscontrare il fenomeno nel 1824 sul Vesuvio, avendo vedute le loro imagini dipinte sopra una nube di fumo, che elevavasi dal cratere del vulcano (2).

1739. La luce, nel passare da uno in altro mezzo più o meno rifrangibile oppure nell'attraversare degli strati d'aria di differente densità, dà nascimento ai fenomeni altrove mentovati (§. 771). Da questo e dall'altro principio, del cambiamento della rifrazione in riflessione (§. 773), dipende un'apparenza ottica, che si comprende fra le meteore della stessa specie. Nelle ore meridiane i cocenti raggi del sole riscaldano il piano sottoposto in modo da dilatarne l'aria sovrastante e renderne gli strati inferiori successivamente meno densi dei superiori, invertendo così sino ad un certo punto la legge della densità (§.640). L'esperienza infatti mostra che, nello stato di calma dell'atmosfera, gli strati aerei si riscaldano tanto più quanto più sono vicini al piano su cui si appoggiano, rarefacendosi ed acquistando d'altronde abbastanza elasticità da equilibrare la pressione dei sovraincumbenti più densi Verificandosi tali condizioni, ecco che avviene degli oggetti guardati attraverso l'aria, che ha cambiato in tal modo l'ordine della densità.

Sia MN un oggetto elevato sul piano PQ, e gli spazi fra le linee parallele rappresentino gli strati d'aria, che dal piano stesso vanno successivamente crescendo in densità sino all'altezza ove s'estende il calore, dopo cui si rarefanno secondo la mentovata legge (fig. 530). Fra i raggi lucidi, scagliati dall'estremo M dell'oggetto, ve ne saranno alcuni i quali, quantunque non diretti verso l'occhio O dello spettatore, penetreranno negli strati aerei successivamente meno densi, ne saranno rifratti discostandosi dalla normale. Diventando sempre più

(1) *Dissertazione sopra diversi fatti meno ovvi ecc.*, di Minasi. Roma 1773, pag. 89.

(2) *Annali civili del R. delle Due Sicilie.* 1834, t. IV, pag. 40 Il fenomeno descritto negli *Annali di Africa* più volte citati, t. XV, pag. 49, partecipa più del parelio che dell'antelio.

obliqui, la rifrazione si cambierà interamente in riflessione, ed i raggi verranno rimandati verso l'occhio medesimo dopo essere di nuovo rifratti. Apparirà quindi allo spettatore l'imagine del punto M in virtù del fascio di raggi luminosi, che hanno preso il cammino curvilineo indicato nella figura. Lo stesso sarà dell'altro estremo N e dei punti intermedii. In tal guisa lo spettatore vedrà, sul prolungamento degli ultimi tratti lucidi giunti all'occhio, l'imagine rovesciata dell'oggetto, come lo osserva in uno specchio piano (§. 913). Vedrà altresì l'oggetto pei raggi diretti lanciati attraverso gli strati superiori, pei quali la luce non prova che lievi inflessioni, per differire di poco in densità in causa della distanza cui si trovano dal piano riscaldato. È chiaro che si ottiene lo stesso effetto quando gli strati aerei siano rarefatti in serie decrescente dal vapore acqueo, che esala dal piano sottoposto e vi si mescola allo stato elastico (§. 1677).

Si può verificare il fenomeno coll'esperienza, prendendo un lungo caldano pieno di carboni ardenti e sospeso orizzontalmente all'altezza dell'occhio. Guardando un piccolo oggetto un poco distante, posto allo stesso livello e nella direzione della lunghezza del caldano, oltre l'imagine diretta ne comparisce al di sotto una seconda rovesciata. Si ottiene il medesimo effetto con istrati liquidi di diversa densità, come ha insegnato Wollaston. Si versi dell'acqua in un vaso cubico a pareti ben piane e trasparenti, e poscia dell'acido solforico mediante un imbuto il cui cannello giunga sul fondo del vaso. Essendo il secondo versamento fatto con precauzione, l'acido occupa la parte inferiore della capacità, ed i suoi strati diminuiscono in densità a misura che si avvicinano all'acqua. Se ora si pone di contro alla parete del vaso uno scritto, se ne vedranno dal lato opposto i caratteri a traverso i liquidi, avendosi un'imagine rovesciata per rapporto a quella diretta. Si può far uso eziandio d'alcoole galleggiante sull'acqua.

1740. Nelle estese pianure dell'Asia e dell'Africa si riscontra sovente il fenomeno, come pure nello stretto di Messina nella bassa Italia. — Quei popoli lo conoscono da lungo tempo, essendo chiamato dagli Ebrei *Sciarab*, dai Persiani *Serrab* e dagli Arabi *Serab*, che vuol dire illusione od apparenza ingannatrice. Nella bassa Italia si appella *Fata Morgana* od incantesimo della regina delle streghe. Dopo che il fenomeno è divenuto dominio della scienza, ha avuto presso i dotti un nome proprio: in Germania si chiama *Kimmung* ed in Francia da non molti anni *Mirage*. Importa dunque che anche in Italia riceva una denominazione propria, ed è per tal ragione che, facendo rinascere un antico vocabolo equivalente a specchio, lo chiameremo mi-

raglio, consistendo esso appunto nell'illusione consimile all'imagine dello specchio.

1741. Il miraglio, sul finire dello scorso secolo, è stato osservato nel basso Egitto da Monge, il quale ne ridusse la spiegazione ai suoi veri principii Il paese presenta un vasto piano, dove sorgono da lungi delle piccole alture, su cui s'innalzano degli edifizi e dei villaggi. L'atmosfera conserva d'ordinario lo stato di calma ed è assai pura. Al nascere del sole gli oggetti si distinguono nettamente; ma, a misura che s'innalza sull'orizzonte, il suolo sempre più si riscalda ed il calorico si comunica agli strati aerei inferiori L'aria concepisce un tremito ondulatorio assai sensibile all'occhio, come si riscontra da noi talvolta in alcune ore della stagione estiva, e tutti gli oggetti lontani danno delle imagini rotte e confuse. Una volta però che sia ristabilito l'equilibrio, il miraglio si mostra in tutta la sua magnificenza. L'aspetto del cielo presenta da lungi la sua imagine per rifrazione e successiva riflessione a traverso gli strati d'aria rarefatti dal calorico; si scorge come un lago entro cui sorgono gli alberi e gli oggetti delle alture rovesciati nelle acque di quell'apparente inondazione, la quale aparisce a misura che l'osservatore vi si accosta, manifestandosi ancora nelle parti più lontane in virtù degli strati aerei successivi rarefatti egualmente per riprodurre il fenomeno. I soldati di Napoleone, affaticati nella spedizione d'Egitto dalle marcie sforzate arsi di sete sotto la sferza d'un sole ardente ed in mezzo ad un'aria riposante sopra un suolo arenoso ed infuocato, crederono ad ogni istante di ritrovare un ristoro al male da cui erano travagliati; ma restavano illusi, fuggendo quelle acque a misura che vi si accostavano.

Biot, dopo aver osservato il miraglio sopra il terreno arenoso di Dunkerque in vicinanza del mare, ne studiò pure la spiegazione pubblicando uno scritto nel volume del 1809 delle *Memorie dell'Istituto francese*, e dimostrò che le curve dei raggi, che dipingono nell'occhio le imagini dell'oggetto, s'intersecano nei secondi rami in modo che, a partire da un certo punto p posto a qualche distanza dall'occhio O dello spettatore, si forma una curva, sotto la quale tutti i punti rimangono invisibili (fig. 531); mentre quelli al di sopra sino ad una certa altezza danno due imagini, l'una diretta e l'altra rovesciata. In tal guisa una persona, che si allontanasse dallo spettatore partendo dal punto p, gli offre le successive apparenze rappresentate nella figura. Quantunque nel nostro continente, sparso di molti abitanti, siano difficili a riunirsi tutte le condizioni pel miraglio; tuttavolta

il fenomeno è comparso ad Ulma (1), ed ognuno potrà ammirarlo anche fra noi avvicinando la testa fal suolo, come m'è accaduto di osservarlo trovandomi sulle alluvioni del Po inferiormente a Piacenza.

1742. Nel miraglio dello stretto di Messina la rarefazione degli strati aerei è prodotta dal vapore esalato dalle acque del mare. Il P. Minasi infatti, che l'ha veduto e descritto (2), trova necessario: *la calda stagione ed un'aria molto vaporosa, la quale non sia anteriormente stata dai venti dispersa.* Saffiotti, abitando in Reggio, ebbe occasione di osservare il fenomeno (3), e nota che l'azione del vento, trasportando altrove i vapori, lo faceva scomparire. Pindemonte, dopo averlo mirato, ne ha fatto argomento delle sue poesie, nelle quali dice che ..... *Fiato non movea di vento,.. E quale specchio era il mare terso ed immoto.* — Ribaud, essendone stato spettatore verso la metà di luglio del 1809, dice che *i marinai l'assicuravano che per la calma ed il gran calore del mare, la Morgagna si sarebbe formata dopo lo spuntar del sole. — Si vedeva esalare dal mare un vapore, che diveniva copioso a misura che il sole s'innalzava. — Dopo varie combinazioni il mare ed il vapore divennero perfettamente chiari e cristallini.* — Il fenomeno fu visibile per quasi un quarto d'ora, dopo cui *un'aura di vento condusse seco il vapore e tutti gl'incantesimi* da lui veduti.

Sulla costa di Sicilia trovasi Messina, col suo porto, colle sue chiese e coi suoi monumenti; sonvi parecchi villaggi, monti, alberi ecc.: perciò il miraglio offre colà l'aspetto di palagi, d'edifizi con torri e campanili, archi, colonne, filari di piante, rovine, navigli coi loro alberi e colle loro vele, e ben anche schiere armate di fanti e di cavalli. — *Ed altre varie forme e pinti aspetti, — Che vengono e che van, tornan, dan loco — A pinti aspetti e ad altre varie forme, — Qual forse pei deserti ampli del cielo — Un rapido varcar di mondo in mondo* (Pindemonte).

Quantunque di minor magnificenza, appartiene alla stessa categoria il miraglio osservato dal marchese Ruffo l'ultimo di marzo 1832 sul lago d'Averno presso Napoli (4), e quello veduto da Hopkins in vicinanza del mare in Inghilterra (5).

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. xxv, pag. 459.

(2) *Dissertazione sopra un fenomeno volgarmente detto Fata Morgana* ecc. Roma 1773.

(3) Si vegga la *Lettera* ecc. di cui nei suddetti *Annali*, t. xx; pag. 172.

(4) *Annali civili del Regno delle Due Sicilie*, t. iv, 1834, pag. 32

(5) *Annali di fisica* ecc. succitati, 2ª serie, t. i, pag. 24.

1743. Il miraglio propriamente detto succede quando *al di sotto dell'oggetto* ne comparisce l'imagine rovesciata sfuggevole e riproducentesi all'approssimarsi dello spettatore per altri strati aerei posti nelle stesse condizioni, o per la translazione degli strati medesimi come nella Fata Morgana. Accade talvolta di vedere l'imagine rovesciata *al di sopra dell'oggetto*. Questo fenomeno partecipa dell'antelio (§. 1738) e del miraglio, e di esso si ha un esempio riferito dal dottor Vince di Ramsgate lungi alcune miglia da Douvre. In un giorno d'agosto egli scòrse una nave all'orizzonte che distingueva nitidamente, e nello stesso tempo ne vide l'imagine rovesciata disposta verticalmente al di sopra (fig. 532). In altro giorno dello stesso mese verso sera gli si presentò il fenomeno di un naviglio coll'imagine rovesciata al di sotto; e questa volta era vero miraglio (fig. 533). Scoresby fece parecchie osservazioni nei paraggi della Groenlandia, ed una volta gli accadde di vedere nitidamente l'imagine rovesciata d'un naviglio, che poscia verificò d'essere stato alla distanza di 58 chilometri, e quindi al di sotto dell'orizzonte sensibile. Al ritirarsi dell'ombra portata da un colle vicino può accadere che gli strati aerei prendano orizzontalmente delle densità successivamente crescenti e diano luogo al *miraglio laterale*. Il fenomeno, quantunque difficile a riscontrarsi, è stato osservato nelle circostanze mentovate sul lago di Ginevra da Soret e Jurine nel settembre 1818, dove una barca, che si avanzava verso la loro sinistra, presentò a destra un'imagine che aveva lo stesso movimento.

Alcune delle osservazioni di Scoresby si riferiscono ad elevazioni di oggetti prodotte dalla rifrazione al pari di altri fenomeni (§. 771). Il 19 agosto 1822, essendo il sole molto brillante e caldo, la costa sembrava molto riavvicinata ed elevata. Parimenti al succitato dottor Vince, guardando il 6 agosto 1806 alle 7 ore di sera verso Douvre, si presentò il castello di questa città, la cui vista è impedita da un colle posto a circa 18 chilometri da Ramsgate dove si trovava.

CAPITOLO TERZO

DEI FENOMENI CELESTI.

1744. Nello spazio celeste sono sparsi innumerevoli globi, i quali vicendevolmente si attraggono (§. 128) e formano nel loro complesso un sistema soggetto a parecchi movimenti, di cui è scopo l'astronomia e della cui descrizione si occupa l'uranografia. Non è dell'indole di questo libro d'aggirarsi nel campo e nei calcoli della prima e nem-

meno d'occuparsi della seconda, che forma parte delle principali opere di geografia e costituisce i trattati speciali della sfera celeste: dobbiamo invece considerare i fenomeni in riguardo alla nostra scienza (§ 1631) e mostrare com'essi si colleghino con quelli, di cui sinora si è discorso.

1745 Rivolgendo gli occhi verso il cielo, primo fra tutti gli astri si scorge il sole colla sua abbagliante luce. Esso ha la forma sferica al pari della terra (§. 1632) col diametro 112 volte maggiore. Galilei e poscia Fabricio ed altri fisici scopersero alla superficie alcuni spazi oscuri, che si chiamano le *macchie del sole*. Si muove intorno al suo asse, come si deduce dall'osservarne col telescopio le macchie, le quali alla vista s'impiccioliscono, diventano oblique ed al fine del tutto spariscono per ricomparire nella primitiva grandezza dopo una intera rotazione. Il periodo della rivoluzione, secondo le più recenti osservazioni di Laugier (1), risulta di giorni 25,34, equivalenti a giorni 25. 8or 9', 60.

Il sole emana luce propria e, nel corso di questi *Elementi*, l'abbiamo riscontrato la principale sorgente che illumina, riscalda, feconda e ravviva la terra. Qual è l'origine della luce e del calorico, che il sole versa con tanta profusione su di noi e nel firmamento? Esiste forse in quell'astro un'immensa batteria voltaica perennemente in azione, in modo d'essere la sorgente continua d'una luce abbagliante (§ 1442) ed un intenso calore (§. 1450)? Non si hanno prove dirette di questa congettura, e si conoscono soltanto alcuni fatti che le danno qualche grado di probabilità. Il sole sembra non essere fornito d'atmosfera, l'eclisse totale del luglio 1842, visibile anche in Italia, ha dato occasione alla scoperta di certi effetti, che farebbero credere intorno al sole delle nubi ignee (2).

1746. Osservando in un mattino sereno il firmamento, sembra che il sole e tutti gli astri si muovano d'oriente in occidente. Questo moto è soltanto apparente dipendendo dalla rotazione della terra sul proprio asse da occidente in oriente, il che si deduce: 1° dall'illusione per la quale il moto del corpo in cui ci troviamo si attribuisce ad altro fisso (§. 911); 2° dalla velocità prodigiosa che dovrebbe avere il sole girando intorno alla terra; 3° dalle leggi della gravitazione (§§. 129, 353 e 382), per le quali non è ammissibile che un corpo si muova intorno ad un altro estremamente più piccolo; 4° dall'a-

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. IX, pag. 154.
(2) I medesimi *Annali*, t. XXIV, pag. 231.

nalogia, da cui siamo indotti ad ammettere nella terra il moto di rotazione riconosciuto negli altri astri; 5° dallo schiacciamento come effetto della rotazione (§. 1633); 6° dalla diminuzione di gravità in virtù della forza centrofuga (§. 377).

Foucault a queste prove ne aggiunse una nuova diretta, nella quale è posta in evidenza la rotazione diurna della terra con un esperimento comunicato all'Accademia di Francia il 3 febbraio 1851. Si abbia un pendolo, composto d'una massa sferica omogenea sospesa ad un punto fisso mediante un filo flessibile. Supponiamo per un momento che questo pendolo sia collocato al polo nella direzione dell'asse terrestre, e che il punto di sospensione col filo non partecipino alla rotazione dell'asse medesimo. Discostando il pendolo dalla verticale ed abbandonandolo a se stesso, incomincierà ad oscillare in un determinato piano. Durante le oscillazioni la terra non cessa di ruotare da occidente in oriente, ed il piano d'oscillazione, non partecipando della rotazione, sembrerà sollecitato dal moto contrario d'oriente in occidente conforme a quello degli astri. Durante 24 ore il piano d'oscillazione avrà percorso con moto apparente l'intera rivoluzione attorno alla proiezione verticale del punto di sospensione.

Tale sarebbe l'esperimento ideale con cui il piano d'oscillazione, in virtù della rotazione diurna della terra, compirebbe lo stesso moto apparente degli astri. Affine di mettersi nella condizione del punto di sospensione assolutamente fisso, l'autore, con esperienze dirette, si è assicurato che il filo flessibile si può torcere nell'uno o nell'altro verso senza esercitare, per l'inerzia della sfera, influenza sensibile sulla posizione del piano d'oscillazione. Il fenomeno però si complica trasportando il pendolo dal polo a minori latitudini. Imperciocchè l'orizzonte non riesce più perpendicolare all'asse della terra e diventa vieppiù obliquo a misura si avvicina all'equatore. La verticale d'altronde, invece di girare intorno a se medesima, descrive una superficie conica sempre più aperta col vertice al centro della terra. Ne risulta quindi un ritardo nel moto apparente del piano d'oscillazione, il qual moto svanisce all'equatore per succedere in verso contrario nell'emisfero australe, eguagliando la rimozione angolare del piano d'oscillazione il prodotto del movimento angolare della terra pel seno di latitudine.

Ciò premesso, ecco in qual modo s'istituisce l'esperimento. Foucault ha attaccato alla sommità della vôlta d'una cantina un filo di acciaio ben temprato di *mm* 0,6 ed anche di 1,1 e della lunghezza di 2 metri e di 11 nell'esperienza ripetuta alla specola di Parigi. Ad esso

stava sospeso una sfera massiccia di 5 chilogrammi, il cui centro di gravità coincideva con quello di figura. Avanti d'incominciare l'esperimento, pose la sfera in quiete annullando la torsione del filo, indi attaccò il pendolo ad una funicella per deviarlo dalla verticale e poscia lo lasciò libero abbruciando in qualche parte la medesima quando nel filo furono estinte le vibrazioni concepite nell'operazione. Incominciano così le oscillazioni, il cui piano è ben presto rimosso dalla sua posizione, che si misura sopra un cerchio orizzontale graduato, disposto al di sotto della sfera col centro sulla verticale condotta pel punto di sospensione. Si può anche piantare sulla periferia del cerchio uno stilo, che collimi, nel primo moto, colla punta infissa nella sfera sul prolungamento del filo di sospensione. In meno di un minuto la punta si è già discostata dallo stilo e seguita ad allontanarsi a misura si prolunga il moto oscillatorio.

Nell'arsenale di Torino si è fatto l'esperimento e si sono ottenute delle deviazioni notabili, delle quali ha preso nota il chiarissimo professore Plana per darne comunicazione a questa R. Accademia delle Scienze con una Memoria (1), nella quale dimostra che la teorica si accorda coll'esperienza, e che la formola di Poisson ne differisce in causa dell'abbaglio di calcolo in cui è incorso il chiarissimo geometra francese. Disponendo nell'egual maniera l'esperimento alla vòlta dell'aula, si rende palese il fenomeno anche a numeroso uditorio nella scuola.

1747 Dal movimento della terra intorno al proprio asse nasce l'*avvicendamento del giorno e della notte*. Infatti sia A il sole (fig. 534) e T la terra, la quale in 24 ore compisce l'intera rivoluzione intorno all'asse NS: è chiaro che gli abitatori della parte O, rivolta verso il sole, ne godranno la luce cioè avranno il *giorno*, mentre quelli dell'emisfero opposto E saranno immersi nelle tenebre cioè avranno la *notte* (§ 747). Continuando la terra il moto di rotazione, la parte E verrà gradatamente in posizione da ricevere i raggi del sole; mentre l'emisfero O passerà successivamente nella situazione opposta, e così gli abitanti dei due emisferi si scambieranno il giorno colla notte.

Il vocabolo *giorno* si prende in diversi significati: dinotando presenza di luce, esso è propriamente l'intervallo di tempo in cui il sole illumina un dato luogo, ossia il tempo che impiega il sole nel suo moto apparente a descrivere l'arco diurno. In questo senso si ha pro-

(1) Inserita nel t. XIII, seconda serie delle *Memorie* dell'Accademia.

priamente il *giorno vero* o *naturale*, il quale va distinto dal *giorno siderale* consistente in quel tratto di tempo, che separa due successivi nascimenti d'una stella fissa, per cui abbraccia un giorno naturale ed una notte. Il giorno naturale è prolungato dai crepuscoli (§. 1734), e in tal caso chiamasi *giorno pratico*. In corrispondenza di queste denominazioni si distingue la *notte pratica* dalla *siderale*.

1748 La terra, oltre la rotazione intorno al suo asse, si rivolge esiandio intorno al sole per un'orbita o strada della figura d'elisse, secondo le leggi altrove dichiarate (§§ 129, 381 e 382), e nel ritornare allo stesso punto da cui è partita, ossia a descrivere l'intera rivoluzione, impiega giorni 365 5or, 48' 48''. Questo tempo costituisce l'*anno*, che è impiegato dalla terra nel suo *moto annuo*, a differenza di quello di rotazione detto *moto diurno*. Quel periodo di tempo si denomina *anno tropico*, mentre l'*anno civile* venne stabilito di 365 giorni precisi. Imperocchè riuscirebbe d'imbarazzo se nell'uso comune si dovesse valutare anche la frazione di giorno Non tenendone conto si trascurano intanto ogni anno quasi 6 ore, che nel corso d'un quadriennio formano circa un giorno, di cui si anticiperebbe il successivo anno. Accumulandosi coll'andar del tempo l'errore, verrebbe a risultare la primavera al posto dell'inverno, l'estate a quello della primavera ecc. Per correggerne il difetto si aggiunge ogni quattro anni un giorno, che si è collocato dagli antichi Romani dopo il sesto dì delle calende di marzo, e chiamato per ciò *bis sexto*, da cui ebbe origine la denominazione di *anno bisestile* di 366 giorni. Quest'aumento dà nel periodo di quattro anni l'eccesso di 44', 48'' più del dovere, il quale, accumulandosi, produce a capo di 400 anni l'errore di poco più di tre giorni, talchè dopo 4 secoli l'anno seguente incomincierebbe 3 giorni più tardi del vero. A togliere l'inconveniente si è adottato il ripiego di sopprimere tre bisestili ogni quattro secoli, essendo incominciata l'ommissione nel 1700.

1749. Se per l'orbita ABCD della terra s'imagini condotto un piano, che venga indefinitamente prolungato sino ad incontrare la volta del firmamento, si ha la curva *efg* rientrante in se stessa della *eclittica*, nella quale apparisce il sole nel corso dell'anno (fig 535). Si è imaginato altresì nel cielo una zona della larghezza di circa 18°, divisa in due parti uguali dall'eclittica La zona chiamasi *zodiaco*, e comprende lo spazio dove appariscono nel cielo i pianeti Lo zodiaco al pari dell'eclittica si divide in due parti uguali, ciascuna di 30°, che si appellano *segni dello zodiaco*, ed a cui si è dato il nome delle 12 costellazioni, che in origine corrispondevano a quelle divisioni. Que-

sti segni sono: *ariete* ♈, *toro* ♉, *gemelli* ♊, *cancro* ♋, *leone*, ♌ *vergine* ♍, *libra* ♎, *scorpione* ♏, *sagittario* ♐, *capricorno* ♑, *acquario* ♒, *pesci* ♓. I sei primi sono situati nella parte settentrionale e gli ultimi sei nella meridionale, e perciò si chiamano rispettivamente segni settentrionali e meridionali.

1750. Dal moto della terra intorno al sole dipende *la variazione della lunghezza del giorno* in riguardo alla notte. Se l'asse NS della terra (fig. 554) fosse perpendicolare al piano dell'orbita, o in altri termini se l'eclittica fosse parallela all'equatore; allora il sole illuminerebbe sempre egualmente ciascuna delle metà dei due emisferi boreale ed australe rivolte verso quell'astro in qualunque posizione A, B, C, D si trovi la terra (fig. 555), ossia il sole all'equatore ascenderebbe nella sua culminazione per l'intero anno a 90°, e riuscirebbero quindi su tutta la terra eguali fra loro il giorno e la notte. La lunghezza del giorno dipende dunque dalla posizione dell'asse ns della terra riguardo al piano dell'orbita, ossia dall'obliquità dell'eclittica coll'equatore. L'asse ns fa un angolo di circa 66° 1/2 col piano suddetto, e per conseguenza l'obliquità de l'eclittica risulta di 23° 1/2 come complemento di quell'angolo.

Ora, trovandosi la terra in A per passare in C con una mezza rivoluzione, l'eclittica interseca l'equatore in due punti diametralmente opposti, dove il giorno riesce eguale alla notte, e si chiamano perciò *equinozi*, il primo in A avviene pei paesi del nostro emisfero nella *primavera*, il secondo in C nell'*autunno*. Anticamente i due equinozi corrispondevano con precisione rispettivamente ai due segni dell'ariete e della libra. Ma osservazioni assidue hanno dimostrato che di molto se ne discostano, rimanendo indietro ogni anno di 50", 25, il qual fenomeno è prodotto dall'attrazione degli astri e si chiama *precessione degli equinozi* ovvero *retrogradazione dei punti equinoziali* (§. 428). Nelle due posizioni B, D intermedie alle precedenti, l'eclittica si allontana dall'equatore, avendo in B i raggi solari la minima ed in D la massima obliquità: nel primo caso ha luogo il *solstizio d'estate* e nel secondo il *solstizio d'inverno*, così chiamati perchè il sole in quei due punti, per ritornare verso l'equatore, non ha moto sensibile che dopo qualche giorno, e sembra stazionario durante un tal tempo. Nel solstizio d'estate l'arco diurno riesce massimo e in quello d'inverno minimo, per la qual cosa nel primo il giorno ha la massima lunghezza, dopo cui va scemando sino ad avere la minima nel secondo.

Essendo l'asse terrestre inclinato di 66° 1/2 al piano dell'eclittica,

i due punti dei solstizi sono separati dall'equatore da un arco di 23° 1/2. Imaginando quindi condotto in ciascun emisfero terrestre un cerchio parallelo ed alla distanza di 23° 1/2 dall'equatore, i due cerchi toccano l'eclittica nei due punti solstiziali e si chiamano *tropici* da *trepo* volgere il primo *tropico del cancro* ed il secondo *tropico del capricorno*, per accadere i due contatti rispettivamente quando il sole corrisponde a quei segni dello zodiaco. Nella posizione D poi il polo nord resta costantemente nascosto ai raggi solari, i quali nella rotazione diurna non possono giungere al di là d'un cerchio condotto sulla terra parallelo all'equatore e distante da esso 66° 1/2, il quale è il *cerchio polare artico*, cui nell'altro emisfero corrisponde nella posizione B della terra il *cerchio polare antartico*.

1751 Il giorno siderale od il tempo impiegato da una stella in due successivi ritorni allo stesso meridiano si credeva costante (§ 1747), ma ciò non si verifica a tutto rigore in causa del moto annuo della terra. Se questa non fosse fornita che del moto diurno equabile, impiegherebbe sempre 24 ore a compiere l'intera rotazione, ossia a passare due volte successivamente pel centro del sole Il movimento annuo della terra non riesce uniforme in causa principalmente delle perturbazioni prodotte dall'attrazione degli astri (§ 128, e della seconda legge della gravitazione (§ 129) Questa variazione di moto rende ineguali i giorni siderali, quantunque divisi tutti in 24 ore, ed un esatto orologio, regolato da principio col sole, non va d'accordo con questo e segna il mezzodì ora avanti ora dopo che l'astro giunge al meridiano Non riuscendo costanti le rivoluzioni diurne per essere ora in eccesso ed ora in difetto, si è presa la media per costituire il *giorno astronomico*, che chiamasi per ciò *tempo medio*, a differenza del giorno siderale variabile che dicesi *tempo vero*. La differenza fra il tempo medio ed il vero in ciascun giorno è chiamata l'*equazione del tempo* Il tempo medio diurno si divide in 24 parti eguali, che costituiscono le *ore astronomiche*

Gli astronomi hanno calcolato la tavola della differenza fra il mezzodì della meridiana e quello del pendolo, i quali s'accordano soltanto quattro volte all'anno, ossia quattro volte nel corso dell'anno il mezzodì del pendolo o del tempo medio coincide con quello della meridiana o del tempo vero, variando negli altri giorni ora in più ora in meno e potendo la differenza ascendere a 16'.

1752. Il moto annuo della terra è altresì la causa dell'*avvicendamento delle stagioni*. Imperocchè, nelle diverse posizioni del pianeta durante la rivoluzione, i raggi solari variano *nell'angolo della loro*

incidenza e nella durata della loro azione, da cui risulta una diversa intensità di riscaldamento secondo la latitudine. Ciascun luogo, posto fra i tropici *abab* (fig. 534), ha due volte all'anno il sole allo zenito (fig. 535), e durante tutto il tempo dell'anno i raggi solari deviano di poco dalla verticale. Inoltre all'equatore il giorno si conserva sempre uguale alla notte (fig. 534) e differiscono di poco fra loro negli altri luoghi. In qualunque posizione A, B, C, D della terra lungo la sua orbita (fig. 535), i raggi solari cadono dunque sulla superficie terrestre fra i tropici con poca obliquità per lungo tempo durante tutto l'anno, e la riscaldano in modo che la temperatura si conserva sempre elevata. Nei luoghi al di fuori dei tropici, il sole non giunge mai allo zenito, avendo sempre l'altezza minore di 90°, e cadendo i raggi tanto più inclinati quanto più dai tropici *ab* si accostano ai circoli polari *cd* (fig. 534). Al di là dei circoli polari i luoghi o restano assolutamente privi della presenza del sole, o ne godono la luce continuamente, finchè il gran luminare si trova nella sua massima declinazione. Nell'ultimo caso però i raggi vi giungono così obliqui che hanno il minimo potere riscaldante. Nella posizione B i luoghi situati nelle regioni del polo boreale hanno il giorno continuo senza essere interrotto dalle notti (fig. 535), mentre nell'altra D lo sono quelli delle regioni del polo australe. Nell'astronomia quindi la superficie terrestre si divide in cinque zone: quella calda compresa fra i tropici *abab* (fig. 534) detta *zona torrida*; le due *zone temperate* comprese fra i tropici *ab* ed i circoli polari *cd*, e le due *zone glaciali* rinchiuse nei circoli polari *cd*.

Si è altrove mostrato che si danno delle circostanze, per le quali, indipendentemente dalla latitudine, cambia la temperatura d'un luogo (§§. 1661 e 1671), e che per leggi fisiche il massimo calore del giorno non accade al mezzodì (§. 1663), nè quello dell'anno al solstizio d'estate (§. 1667), come dovrebbe succedere considerando il fenomeno soltanto dal lato astronomico. Appunto per questo nella meteorologia si scompartisce la terra in zone differenti da quelle dell'astronomia (§. 1672), e le carte geografiche differiscono dalle carte meteorologiche (§. 1674). D'altronde si è riconosciuto che il calore d'un luogo dipende principalmente dalla latitudine (§. 1670), per cui alla zona torrida in generale e specialmente in vicinanza dell'equatore non ha luogo l'avvicendamento delle quattro stagioni in causa che il giorno e la notte conservano pressochè sempre l'eguale lunghezza, mentre i raggi solari non si discostano mai di molto dalla verticale. Ad una lunga estate succede una lieve diminuzione di calore, che poco diversifica dall'estate medesima, ed a cui segue ben presto di

nuovo questa stagione nel suo primitivo vigore. Nelle zone temperate incominciano ad essere distinte le quattro stagioni, e tanto più distinte quanto più i luoghi si allontanano dai tropici. Nei paesi limitrofi alla zona torrida l'inverno è brevissimo e mite al pari della primavera e dell'autunno, mentre l'estate è lunga. A misura che aumenta la latitudine, le quattro stagioni riescono più uniformemente distribuite; e poscia l'inverno incomincia a predominare a scapito della durata dell'estate, essendo il primo tanto più lungo quanto più è grande la latitudine. Nelle zone polari l'inverno ha la maggiore lunghezza, venendo immerse per alcuni mesi dell'anno in una notte continua. Nell'estate la lunga durata del giorno supplisce alla brevità della stagione, continuando il sole senza interruzione di notti a riscaldare la terra, per cui i cereali impiegano circa 6 settimane dall'epoca della germogliazione a quella della loro maturanza; mentre nei paesi di media latitudine, come i nostri, dove il giorno è alternato dalle notti quantunque brevi, sono necessari tre mesi per portare a compimento la vegetazione.

Trovandosi la terra nella posizione A gli abitanti della zona torrida hanno l'estate (fig. 533), quelli della zona temperata boreale la primavera e dell'australe l'autunno; mentre gli altri della zona glaciale verso il polo nord incominciano a sentire qualche lieve mitigazione del lungo inverno avuto, e della zona glaciale verso il polo sud hanno un brevissimo autunno da cui ben presto passano nella rigidezza di lungo inverno Nella posizione B l'estate perdura più che mai nei luoghi della zona torrida posti al di quà dell'equatore, mentre in quelli posti al di là si prova qualche diminuzione di calore, che interrompe l'estate continua. Le due zone temperate e le due glaciali boreale ed australe, sono rispettivamente giunte nelle stagioni d'estate e d'inverno. Essendo la terra nella sua rivoluzione annua pervenuta in C, regna ancora nella zona torrida l'estate in diminuzione nei paesi al di quà ed in aumento in quelli al di là dell'equatore. Le zone temperate sono entrate l'una nell'autunno, la boreale, e l'altra nella primavera, l'australe; e delle due glaciali, in quella del nostro emisfero ha principio l'inverno, e nell'altra si sente qualche lieve sollievo pei rigori provati durante la fredda stagione. In D finalmente gli abitatori delle cinque zone provano dei calori all'inverso di quelli che sentivano in B. Del resto rammentiamo che le quattro stagioni si stabiliscono nella geografia astronomica secondo i tempi in cui cadono i solstizi e gli equinozi, mentre nella fisica meteorologica avvengono ad epoche differenti (§. 1667). La posizione geografica non basta a caratterizzare il

clima d'un luogo, dipendendo esso dalle condizioni meteorologiche del paese (§. 1672). L'uso poi ha adottato il linguaggio di *clima delle Alpi*, *di clima delle valli*, *di clima della pianura*, *di clima del mare* ecc., che si riferiscono a quelli distinti nella meteorologia (§. 1675).

1753. La luna è un corpo sferico, che al pari della terra è illuminato dal sole. Fra tutti gli astri che spaziano ne'cieli, essa è il più vicino al nostro globo, essendone distante 60 semidiametri terrestri ossia circa 382 mila chilometri. Quantunque non sia molto grande, avendo per diametro circa $^3/_{11}$ della terra, tuttavolta vi esercita la maggior influenza, facendo sentire gli effetti della gravitazione (1632) per la minore distanza cui si trova in confronto degli altri astri.

1754. La luna, oltre seguire la terra nella sua rivoluzione, circola intorno a questa per un orbita ellittica nel tempo di giorni 27 7or 43'. 4". Infatti la luna sorge e tramonta come tutti gli altri astri, ma pel suo moto di rivoluzione intorno alla terra ritarda continuamente a comparire in un dato luogo del cielo, essendone il ritardo di 13",176 per ogni giorno. Il tempo riferito si chiama *rivoluzione siderale della luna*, e durante questo movimento comparisce illuminata agli abitanti della terra sotto variate forme, le quali si appellano *fasi lunari*. Sia *abcd* l'orbita della luna intorno al nostro globo T, ed S il sole (fig 536), e collochiamoci sull'emisfero terrestre verso cui trovansi la luna ed il sole in questa posizione la mezzaluna *a* rivolta verso di noi non è illuminata, e dà luogo al fenomeno della *luna nuova* o *novilunio* ⊙. La luna, nel percorrere la sua orbita, giunge in *m* ed apparisce in parte illuminata sotto forma di falce colla convessità rivolta verso il sole. Continuando il suo moto verso oriente dopo alcuni giorni si vede in *b* sotto la figura di mezzo disco illuminato, dando luogo al così detto *primo quarto* o *alla prima quadratura della luna* ☽. La parte lucida va aumentando sempre più in grandezza e, dopo essere passata per *n*, la luna giunge in *c*, e mostra un intero emisfero illuminato, che produce il fenomeno della *luna piena* o *plenilunio* ☻. La superficie illuminata visibile va in seguito diminuendo, mostrandosi quell'astro in *d* colla metà dell'emisfero illuminato, formando così l'*ultimo quarto* o la *seconda quadratura* ☾; sinchè progredendo nel suo cammino ritorna ancora nella posizione *a* donde è partito, ed incomincia una nuova lunazione col *novilunio* su nominato. Si noti che nel crescere la parte illuminata della luna ha la convessità rivolta a ponente, e nello scemare a levante, da cui deriva il detto del volgo che *luna crescente gobba a ponente*, e *luna calante gobba a levante*.

La luna, nel suo moto intorno alla terra e con questa intorno al sole, è soggetta a perturbazioni dipendenti dalle leggi della gravitazione. La determinazione di tali cambiamenti forma nell'astronomia *il problema dei tre corpi*; alla completa soluzione del quale fu pubblicato nel 1818 dall'Accademia delle scienze di Francia un programma di premio, che venne conseguito dai due astronomi italiani Plana e Carlini. Con tale soluzione non è più necessario di ricorrere a metodi empirici per *la costruzione delle tavole della luna*, tanto utili alla navigazione e ad altri usi sociali.

1755. Allorquando la luna apparisce nella posizione *a* (fig. 556) per incominciare la nuova lunazione, si trova distante dal sole per un arco di 0° e si dice che è *in congiunzione* con quest'astro; mentre nella posizione *c* del plenilunio ne dista 180° ed allora è in *opposizione*. Queste due posizioni si comprendono sotto il vocabolo comune di *sizigie*; ed essendo la luna discosta dal sole di 90° in *b* ed in *d*, si usa dire che è nelle *quadrature*. I vocaboli di congiunzione e di opposizione si adoprano eziandio pei pianeti.

L'intervallo, che passa fra due noviluni, chiamasi *lunazione* o *mese lunare*, che costituisce la *rivoluzione sinodica della luna* di giorni 29. 12ore. 44'. 52". cioè poco più di giorni 29 $^1/_2$. La rivoluzione sinodica, in causa del ritardo su annunziato, differisce dalla rivoluzione siderale.

L'orbita della luna s'interseca coll'eclittica sotto un angolo, che è stato calcolato di 5°. 9', minore cioè di quello dell'orbita terrestre (§. 1750). I piani che passano per le due orbite si segano quindi in due luoghi, che chiamansi *nodi di congiunzione*, l'uno ascendente e l'altro discendente. Succede talvolta che la luna, nel tempo dei noviluni, si trovi più o meno coincidente con tal punto, e venga così ad intercettare più o meno i raggi luminosi diretti sulla terra, dando luogo all'*eclisse solare*. Parimenti accade che la luna occupi il nodo durante il plenilunio, intercettando allora la terra i raggi solari diretti su quell'astro e dando luogo all'*eclisse lunare*.

1756. Gli eclissi di sole avvengono soltanto nel novilunio. Quando l'eclisse nel suo maggior occultamento non toglie alla vista degli abitanti della terra che una porzione del disco solare, allora si ha l'*eclisse parziale*; che se li priva interamente della vista del gran luminare succede l'*eclisse totale*. Accade alle volte nell'eclisse che la luna, proiettata sul disco solare, toglie alla vista soltanto le regioni centrali e lascia scoperte le parti verso il lembo, comparendo così come un disco nero circondato da un anello luminoso; in tal caso ha

luogo l'*eclisse anulare*. La luna ed il sole non essendo all'eguale distanza dalla terra, gli osservatori, collocati nei diversi luoghi, non proiettano egualmente i due astri l'uno sull'altro; ed è per tal motivo che lo stesso eclisse riesce totale in alcuni luoghi e parziale in altri. Affinchè l'eclisse sia totale bisogna che le linee visuali, condotte all'estremità del diametro della luna, comprendano un angolo più grande delle visuali guidate per le due estremità del diametro del sole; o in altri termini che il *diametro angolare od apparente* (§. 907) della luna superi quello del sole. Le grandezze apparenti dei due diametri dipendono dalla distanza dei due astri dalla terra (§. 908), la quale è molto variabile. Da qui si comprende facilmente come l'*eclisse centrale* possa essere *totale* ed *anulare*.

Le tavole del sole e della luna provano che, in termine medio, si danno su tutta la terra 70 eclissi in 18 anni, cioè 29 di luna e 41 di sole. In un anno non accadono giammai più di *sette e meno di due eclissi*. Allorchè il numero è ridotto a due, gli eclissi sono tutti di sole. In ciascun periodo di 18 anni vi hanno, termine medio, 28 eclissi centrali di sole suscettibili di diventare, secondo le circostanze, anulari o totali. Siccome poi è assai stretta la zona terrestre, lungo la quale il fenomeno abbia l'uno o l'altro carattere; così gli eclissi totali od anulari in un dato luogo sono moltissimo rari. Per l'intervallo di 575 anni, Londra non ebbe verun eclisse totale di sole, e dopo quello del 1715 ne ha avuto nessuno. Monpellieri, per una particolare combinazione, ha veduto l'eclisse totale del 1° gennaio 1386, del 7 giugno 1415, del 12 maggio 1706 e dell'8 luglio 1842. Parigi conta in più secoli soltanto l'eclisse totale del 1724. Torino, Milano, Padova e Venezia, da che sono erette le loro specole, furono salutate per la prima volta dall'eclisse del 1842. Napoli nel corso di più secoli ebbe soltanto l'eclisse totale del 1605, che durò pochi istanti.

La durata d'un eclisse è massima all'equatore, ed al più di 4ore. 29'. 44". Questa durata diminuisce col crescere della latitudine, e nell'alta Italia può risultare di poco più di 3 ore. La totale occultazione dura sull'equatore al più 7'. 58", ed in questi paesi qualche minuto primo di meno. Quella dell'eclisse del 1706 durò a Monpellieri 4'. 10", del 1715 a Londra 3'. 57", del 1724 a Parigi 2'. 16", del 1806 a Kinderhook in America 4'. 37"; del 1842 a Milano 2'. 14", a Padova 1'. 29", a Venezia 0'. 43", 4 ed a Pavia 2'. 24" (1).

(1) Intorno ai fenomeni da osservarsi durante l'eclisse totale si vegga il mio scritto negli *Annali di fisica* ecc., t. VI, pag. 32, dove si trova eziandio a pag. 271 la relazione dell'eclisse totale del 1842.

1757. La luna osservata con grandi cannocchiali si è trovata sparsa alla superficie di parti diversamente atte a riflettere la luce solare, in causa d'ineguaglianze, che si fanno dipendere da monti, da cavità, da paludi e da altri accidenti consimili a quelli della superficie terrestre. Riccioli ha pel primo delineato la topografia del disco lunare, formando la *carta selenografica*, la quale in seguito è stata arricchita di nuovi accidenti scoperti con telescopii più potenti (§. 950). Si opina quindi che la luna sia un pianeta abitato da esseri come la terra, la quale opinione è stata sostenuta principalmente da Fontenelle. Siccome non si ha finora verun argomento valido a provare che la luna sia circondata d'atmosfera come il nostro pianeta; così siamo indotti a credere che i *planeticoli* debbono avere differente costituzione degli esseri, che popolano la terra.

1758. Si scorgono nell'indefinito spazio del firmamento altri astri, che servono di corteo al sole, e che per la gravitazione si muovono regolarmente in orbite elittiche. Fra i sistemi per dar ragione dei loro movimenti, il meglio che si uniforma alle leggi dell'attrazione universale, e serve a spiegare ed a predire ben anche qualunque fenomeno celeste è quello imaginato da Copernico ed illustrato da Galilei, chiamato *sistema copernicano*. Il sole, splendente di luce propria (§.1745), giace nel mezzo dello spazio, in cui si muovono gli altri astri, ed intorno ad esso girano da occidente in oriente 8 pianeti maggiori e 23 minori, i quali formano i 31 *pianeti primari* sinora conosciuti.

I pianeti maggiori sono distribuiti intorno al sole nell'ordine seguente: il più vicino è *mercurio* ☿ (fig. 537), dopo segue *venere* ♀, indi la *terra* ♁, e poscia successivamente *marte* ♂, *giove* ♃, *saturno* ♄, *urano* ♅ ed infine *nettuno* ♆. Di questi pianeti *nettuno* è il più distante dal sole, *giove* il più grande, *venere* il più lucido, riflettendo questo una luce così brillante che di notte non solo si distingue da tutti gli altri astri pel vivacissimo suo splendore, ma si scorge talvolta di pieno giorno. Il pianeta *venere* apparisce verso occidente poco dopo il tramontare del sole e verso oriente poco prima del nascere del medesimo; essendosi perciò chiamato *espero* od *astro vespertino* nel primo caso, e *lucifero* o portatore di luce nel secondo. I primi sette erano tutti conosciuti all'incominciare del corrente secolo, e il solo *nettuno* è stato aggiunto alla schiera nel 1846 congetturato da Leverrier all'appoggio dell'analisi e dei calcoli sulle perturbazioni d'*urano*, e poco dopo osservato da Galle alla specola di Berlino (1). Nel seguente quadro presentiamo le distanze medie di cia-

(1) *Annali di fisica* più volte citati, t. xxiv, pag. 81.

scun pianeta dal *sole* espresse in quella della *terra* assunta come unità, cui aggiungiamo il tempo della rivoluzione siderea intorno al gran luminare, come pure i loro diametri e volumi in rapporto a quelli della terra, unitamente alle modesime dimensioni del sole e della luna per prendere idea della grandezza relativa degli astri del nostro sistema. La rivoluzione siderea della *luna* si riferisce alla *terra* come ad essa subordinata.

NOMI DEGLI ASTRI	DISTANZE dal sole	RIVOLUZIONE siderea	DIAMETRO vero	VOLUME
Mercurio	0,3870938	g. 87,96928	0,391	0,060
Venere.	0,7233317	» 224,70078	0,985	0,957
Terra	1,0000000	» 365,25638	1,000	1,000
Marte	1,5236910	» 686,97904	0,519	0,140
Giove	5,2027670	» 4332,58480	11,225	1414,200
Saturno	9,5388500	» 10759,21981	9,022	734,800
Urano	19,1823900	» 30686,82035	4,344	82,000
Nettuno	36,1540000	» 60126,00000	4,819	110,600
Sole	—	—	112,060	1407124,000
Luna.	—	» 27,32166	0,264	0,018

1759. Eccitati dalle leggi di Keplero (§. 120), gli astronomi studiarono se le distanze dei pianeti dal sole ne offrissero qualche altra, la quale infatti fu ritrovata essendo soltanto interrotta nell'intervallo fra *marte* e *giove*. Nacque quindi l'idea dell'esistenza di qualche pianeta intermedio al compimento della nuova legge. Assumendo 10 per la media distanza della terra dal sole, quelle degli altri pianeti risultano così espresse.

Mercurio. . .	$4=4$.	Giove. . . .	$52=4+3\times 2^{4}$.
Venere. . . .	$7=4+3\times 2^{0}$	Saturno . .	$100=4+3\times 2^{5}$.
Terra	$10=4+3\times 2^{1}$.	Urano . . .	$196=4+3\times 2^{6}$.
Marte	$10=4+3\times 2^{2}$.	Nettuno . .	$388=4+3\times 2^{7}$.

Il nuovo pianeta *nettuno* si approssima a tal legge, la quale soffre soltanto un'interruzione fra *marte* e *giove*. Gli astronomi si fecero quindi a ricercare il supposto pianeta investigando tutto lo zodiaco; e Piazzi il primo giorno del 1801 scoprì il pianeta *cerere* alla distanza

dal sole di quasi $28=4+3\times2^3$, che completa la legge. Il suo diametro però in confronto degli altri è così piccolo, essendo appena $^1/_5$ di quello della terra, che si riteneva *cerere* un frammento di un grande pianeta, il quale circolasse nell'intervallo occupato dal medesimo e si fosse rotto o diviso in parecchie parti per l'urto di altro astro o per esplosione. Diressero pertanto gli astronomi le loro osservazioni a tale intento e ben presto Olbers scoperse *pallade* e *vesta* ed Harding *giunone*, i quali tre pianeti con *cerere* soddisfacevano colla loro distanza media complessiva alla legge annunziata. Costituivano però tutti insieme ancora un volume molto piccolo, e venne il sospetto che nel medesimo intervallo esistessero altri piccoli pianeti. Trascorsero ben 40 anni, quando nel dicembre 1845 Hencke in Prussia vide fra *marte* e *giove* l'altro piccolo pianeta *astrea* (1). Parecchi altri se ne rintracciarono in quell'intervallo, fra i quali *egeria*, *eunomia*, *igea*, *partenope* e *massalia* scoperti dall'italiano de Gasparis. I pianeti primari minori sommano ora a 23, tutti collocati fra *marte* e *giove* alla distanza media sunnotata. Ciascuno di essi è molto più piccolo della luna e riuniti tutti insieme formerebbero un volume equivalente a circa 2 volte $^1/_2$ quello della luna, ossia ad $^1/_{20}$ soltanto del volume della terra, per cui i 23 piccoli astri rendono sempre più probabile l'antica ipotesi di frammenti d'un gran pianeta, che da tempo immemorabile esistesse e circolasse intorno al sole cogli altri grandi su mentovati (2). Diamo di essi i nomi nel quadro unitamente al semiasse maggiore della loro orbita espresso in quello dell'orbita terrestre, l'inclinazione con questa delle loro orbite e la posizione del nodo ascendente.

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, 1ª serie, t. XXIII, pag. 240.
(2) *Annali* suddetti, 2ª serie, t. IV, pag. 43.

PIANETI MINORI	SEMIAS. MAG. dell'orbita	INCLINAZIONE coll'orb. terr.	POSIZIONE del nodo ascen.
Flora	2,20139	5°. 53'. 3''.	110°. 20'. 13''.
Melpomene	2,29444	10. 5. 25.	150. 16. 11.
Massalia.	2,31037	0. 41. 33.	206. 18. 30.
Clio (Vittoria)	2,33474	8. 23. 12.	235. 30. 7.
Teti.	2,34319	5. 42. 32.	128. 5. 39.
Vesta	2,36200	7. 8. 30.	103. 23. 37.
Iride	2,38502	5. 28. 17.	259. 47. 50.
Meti.	2,38634	5. 35. 55.	68. 29. 22.
Ebe	2,42637	14. 46. 42.	138. 31. 38.
Fortuna.	2,44107	1. 32. 29.	211. 23. 31.
Partenope.	2,45136	4. 36. 54.	124. 59. 54.
Astrea.	2,57677	5. 19. 25.	141. 26. 14.
Irena	2,58195	9. 46. 25.	86. 51. 32.
Egeria.	2,58249	4. 56. 58.	43. 17. 40.
Lutezia	2,61240	3. 5. 6.	80. 21. 36.
Eunomia	2,64821	10. 52. 7.	293. 53, 56.
Talia	2,65042	10. 12. 38.	67. 54. 56.
Giunone.	2,67084	13. 3. 22.	170. 54. 46.
Cerere.	2,76805	10. 37. 4.	80. 48. 47.
Pallade	2,77286	34. 37. 33.	172. 44. 0.
Calliope.	2,91173	13. 47. 59.	66 38. 11.
Psiche.	2,94659	3. 2. 16.	150. 35. 6.
Igea.	3,18369	3. 47. 11.	287. 15. 27.

In quanto al tempo della loro rivoluzione siderea, sapendo che dalla terra è compiuta in giorni 365,25638, si ha dalle leggi note (§. 129) il tempo medesimo espresso da $T = 365{,}25638.\ a\sqrt{a}$, dove a dinota il semi-asse maggiore dell'orbita del pianeta espresso in quello dell'orbita terrestre.

1760. All'intorno di alcuni pianeti maggiori si muovono dei piccoli astri, i quali assieme con essi girano intorno al sole. Questi astri, per distinguerli dai 31 *pianeti primari*, si chiamano *pianeti secondari* ed anche *satelliti* o *lune*. La nostra *terra* ha per satellite appunto l'astro di cui si è parlato, che porta il nome di luna (§. 1753); *giove* ne ha quattro, *saturno* sette, unitamente ad un anello da cui è cinto, ed *urano* sei. Tanto i pianeti primari maggiori e minori, quanto i secondari sono illuminati dal sole.

1761. Oltre i pianeti nominati, si muovono intorno al sole in orbite moltissimo allungate altri astri *b*, *b*, che si chiamano *comete* (fig. 537). Il numero di quelle sinora osservate ascende a parecchie centinaia, e deve riputarsi molto più grande qualora si rifletta che moltissime di esse trascorrono per le loro orbite il nostro orizzonte durante il giorno e rimangono invisibili. Le comete si distinguono dai pianeti all'*atmosfera lucida* da cui sono circondate, alla *coda luminosa* più o meno lunga, sempre situata in opposizione al sole, ed al poco tempo che rimangono nelle vicinanze di quest'astro e del nostro pianeta. Si scorge in esse un *nucleo*, che ha l'apparenza solida di forma planetaria e che è spesso celato sotto l'atmosfera lucida. La cometa del 1811 aveva un nucleo ben terminato, avvolto in una specie di nebbia lucente, concentrica e sferica, la quale era da tutte le parti contornata da un anello oscuro. Dal lato opposto al sole un velo risplendente si distendeva in una lunga e doppia coda. Ad ogni modo le comete si ritengono oggidì corpi non dissimili dai pianeti, lontanissimi dalla terra e soltanto visibili nel loro passaggio al perielio. Le loro orbite elittiche si approssimano alla parabola, avendo per conseguenza l'asse maggiore enormemente lungo. Obbediscono in tal modo alle leggi dell'attrazione universale e differiscono dal moto dei pianeti nella direzione, la quale può essere egualmente da occidente in oriente ed all'inverso con moto retrogrado. Alcune hanno all'incirca la grandezza della nostra terra ed altre le sono superiori.

Di tre comete conoscesi con certezza il ritorno periodico. La prima è la *cometa di Halley*, il quale, avendo determinato gli elementi delle tre vedute negli anni 1531, 1607 e 1682, ne conchiuse l'identità e ne predisse il ritorno nel 1759, che infatti ricomparve il 12 marzo di quell'anno, e di nuovo si vide al 15 novembre del 1835. Questa cometa ha la rivoluzione periodica di 76 anni e farà la sua ricomparsa nel 1912. La seconda è la *cometa di Encke*, il quale fu il primo a riconoscere che quella veduta da Pons a Marsiglia il 26 novembre 1818 era identica con l'altra osservata nel 1786, 1795, e 1805, e ne predisse il ritorno negli anni 1822, 1825, 1828 e 1832, come avvenne in questo e nei successivi, essendo il periodo di rivoluzione di 1207 giorni o di circa anni 3 $^1/_3$. Questa cometa presenta il singolare fenomeno del tempo della sua rivoluzione in continua diminuzione; per cui è probabile, secondo Herschel, che finirà col cadere nel sole od esserne dissipata. La terza di noto periodo è la *cometa di Biela*, che la riconobbe identica a quelle osservate nel 1774 e nel 1805. Essa è ricomparsa negli anni successivi, avendo il periodo di anni

6 $^{2}/_{4}$. Nella riapparizione del 1846 ha offerto un fenomeno singolare e bizzarro, avendo manifestato due nuclei distintamente separati l'uno dall'altro. Dopo il passaggio al perielio, i due nuclei cambiarono di figura, ed il boreale diventò di luce più debole e l'australe all'inverso (1). Le due ultime comete, per la loro frequente comparsa sul nostro orizzonte, somministrano materia di ulteriori studi su questi astri singolari. Sembra altresì definitivamente determinato il periodo della *cometa di Davico* (2).

Del resto quasi ogni anno vi sono delle comete: due se ne videro nel 1843, e quella comparsa in febbraio fu visibile ad occhio nudo e si distingueva per la lunga sua coda (3). Si congettura che sia la stessa veduta da Cassini nel 1668 e da Maraldi nel 1702. Nel 1844 se ne videro tre; altrettante nel 1845 e sei nel 1846.

1762. Tutti i pianeti primari e secondari e le comete ricevono la luce dal sole, riescono luminosi per riflessione, e circolano intorno al gran luminare in orbite ellittiche in virtù della gravitazione e secondo le leggi delle forze centrali (§. 353 e seg.). Formano in tal guisa un complesso di corpi celesti, che chiamasi *sistema solare*. Si offrono allo sguardo nel firmamento un grandissimo numero di altri astri, che scintillano di luce propria e non appariscono forniti di alcun moto, per cui furono chiamati *stelle fisse*. Questi corpi vengono considerati come altrettanti soli, e si congettura che ciascuno di essi sia il centro di altri pianeti e componga un sistema somigliante a quello solare, detto *sistema stellare*. Si avrebbe per ciò nell'immenso spazio dell'universo un numero indefinito di *sistemi stellari*, perchè indefinito è quello delle stelle fisse che brillano nel firmamento. I cataloghi di Piazzi, di Lacaille, di Lalande, di Bailly, di Herschel, di Bessel, di Dollen e di altri diligenti investigatori del cielo, offrono molte migliaia di stelle fisse, di cui si sono stabilite le posizioni; ed un tal numero è ancora una frazione piccolissima, per non dire infinitesima di tutte quelle che popolano il firmamento e che compariscono radunate in gruppi luminosi per la loro enorme distanza, visibili soltanto per mezzo dei più potenti telescopi. La *via lattea* altro non è che un prodigioso numero di stelle, le quali, in causa dell'immensa distanza cui si trovano dalla terra, compariscono vicine le une alle altre in

(1) *Annali di fisica* ecc. più volte citati, t. XXIII, pag. 187.

(2) *Annali* suddetti, 2ª serie, t. I, pag. 47, e 1ª serie, t. XXIV, 242.

(3) *Annali*, 1ª serie, t. XIII, pag. 187, e t. XIV, pag. 278. Per altre comete: t. X, pag. 30 e 163; t. XIII, pag. 277, t. XVIII, pag. 303, t. XXIII, pag. 73, e 2ª serie, t. II, p. 203.

modo da formare una grande zona lucida. Arago per ciò, nell'*Annuario* del 1857, pag. 354, non esita a far ascendere a più di 40 milioni le stelle visibili con potenti telescopii: per cui si avrebbero già più di 40 milioni di soli.

Per facilitare il riconoscimento delle stelle fisse, gli astronomi le divisero in *classi* secondo la loro grandezza apparente, ed in ripartimenti o *costellazioni* secondo la loro posizione, e ciò al pari dei geografi i quali, per facilitare lo studio della superficie terrestre, la dividono in continenti, stati, provincie, distretti ecc. In questo emisfero sono rimarchevoli le *costellazioni* delle due orse, la *maggiore* e la *minore*; che non tramontano mai per essere situate in vicinanza del polo boreale. L'*orsa maggiore* vien detta anche *gran carro*, e l'*orsa minore piccolo carro*, per essere ciascuna delle due costellazioni composta di sette stelle di prima grandezza, disposte in forma di carro; fra le quali è notabile l'ultima del timone del piccolo carro, lucidissima chiamata *stella polare*, perchè distante soltanto qualche grado dal punto del cielo corrispondente al polo, per cui durante tutta la notte conserva sensibilmente la medesima posizione. L'osservatore, che desidera riconoscere la stella polare, basta che delle più belle verso il polo riporti l'altezza ad un punto fisso, per es., ad un campanile o ad un albero; quella fra esse che si mantiene nella stessa posizione è la polare ricercata. La si rinviene eziandio fissando coll'occhio la direzione delle due stelle posteriori del gran carro, che si distinguono con facilità: la prima stella alquanto splendente, che s'incontra in tale direzione, è la stella polare.

1763. Le stelle guardate continuamente, sembrano soggette ad un movimento, pel quale cambiano il posto da loro occupato nel firmamento, ed è un tal fenomeno conosciuto sotto il nome d'*aberrazione delle stelle fisse*. Questo moto è soltanto apparente essendo prodotto da quello della luce combinato con l'annuo della terra. Esso è stato osservato la prima volta da Bradley nel trascorso secolo, il quale ne ha riconosciuto nello stesso tempo la vera causa. Se la terra fosse immobile, si vedrebbero sempre le stelle nello stesso punto del cielo; ma durante il tempo che la luce giunge al nostro occhio la terra progredisce per la sua orbita. Siccome gli oggetti si vedono lungo il prolungamento del raggio lucido giunto all'occhio (§. 906), così la stella deve comparire dislocata di tanto quanto è lo spazio apparente di cui l'osservatore è trasportato nella rivoluzione terrestre. Ora la luce impiega circa 16' a percorrere il diametro dell'orbita terrestre, e nello stesso tempo la terra descrive

circa 40″ di grado per la sua orbita; per cui la stella situata nell'eclittica deve sembrare di 40″ più avanzata quando è in opposizione al sole di quando ne è in congiunzione. Descrivendo poi la terra un'orbita elittica, la stella sembra descrivere una curva somigliante. Dai medesimi principii dipende il fenomeno scoperto da Galilei e conosciuto sotto il nome di *librazione della luna*, nel quale alcune macchie vicine all'orlo del disco di quell'astro appariscono dotate del moto d'altalena. Vi ha altresì la *scintillazione* degli astri, la quale consiste in cangiamenti di splendore sovente rinnovato, su di che si può consultare lo scritto d'Arago nell'*Annuario* del 1832.

Dall'aberrazione delle stelle fisse Herschel dedusse col mezzo del calcolo la velocità della luce, la quale risulterebbe di 288422 chilometri per secondo, che si accosta a quella determinata con altro metodo (§. 741).

Conclusione della fisica cosmologica.

1764. Si comprende dunque che l'uomo è un punto relativamente al globo da lui abitato; il globo stesso riesce un punto del sistema solare; questo sistema risulta un punto dei sistemi stellari, ed un sistema stellare costituisce un punto dell'universo composto d'un numero infinito di quei sistemi. L'uomo però, questo infimo di tutti i punti, abbraccia col pensiero, colla ragione e colla scienza tutto l'universo, esamina la distribuzione dei corpi che vi sono sparsi, ne valuta i movimenti, ne predice i fenomeni, e ne stabilisce le leggi e le teoriche contemplatrici dell'avvenire. I corpi celesti sono a lui legati mediante la luce ed i telescopi, nella stessa maniera che i corpi terrestri gli sono riavvicinati mediante l'elettrico ed i telegrafi. I fluidi imponderabili riescono in tal guisa i mezzi con cui l'uomo è giunto ad annullare quasi si direbbe le distanze giungendo così ad abbracciare la vastità della creazione col suo sapere e coi suoi studi, ed a ritrarne dei vantaggi e dei comodi per tutta l'umanità. Guidato così ad estendere il suo dominio sulla natura, viene a riconoscere come in questa stiano scolpiti i caratteri visibili dell'infinita potenza e saggezza del Factore del creato!

FINE.

TAVOLE

AD USO DELLA FISICA

---

1. *Misure lineari italiane ed estere col rispettivo valore in metri* (§. 41).

ITALIANE	NOME	SUDDIVISIONE	METRI
Firenze	Braccio	20 soldi	0,583628
Genova	Palmo	12 once	0,248015
Milano	Braccio	12 »	0,594936
Napoli	Palmo	12 »	0,264550
Palermo	Palmo	12 »	0,258100
Roma	Palmo	12 »	0,223328
Torino	Piede	12 »	0,514403
Venezia	Piede	12 »	0,347398
ESTERE			
Berlino	Piede (*fuss*)	12 poll. (*zollen*)	0,309725
Brusselle	Piede	12 poll.	0,291002
Dresda	Piede (*fuss*)	12 poll. (*zollen*)	0,283107
Londra	Piede	12 poll. di 10 lin.)	0,304794
Monaco	Piede (*fuss*)	12 poll. (*zollen*)	0,291859
Parigi	Piede	12 poll.	0,324839
Russia	Piede	12 poll.	0,538244
	Arschine	16 werschek	0,711489
Svezia	Piede	12 poll.	0,296867

II. *Pesi italiani ed esteri col rispettivo valore in chilogrammi* (§. 44).

ITALIANI	NOME	SUDDIVISIONE	CHILOGR.
Firenze . . .	Libbra . .	12 once (1) . . .	0,339235
Genova . . .	» . .	12 »	0,317664
Milano . . .	» . .	12 »	0,326793
Napoli.	» . .	12 »	0,320812
Palermo	» . .	12 »	0,317520
Roma	» . .	12 »	0,339214
Torino	» . .	12 » . . .	0,368880
Venezia	» . .	12 »	0,302025
ESTERI			
Berlino	Libbra (*pfund*)	32 Loth	0,468461
Londra	Libb. di Troy	12 once (2) . .	0,373202
	Avoir de Poids	12 » (3) . . .	0,453544
Norimberga . . .	Libbra . .	12 » (4) . . .	0,357854
Parigi.	Libb. di Marco	16 » (5) . . .	0,489506
Russia	Libbra . .	16 » (6) . . .	0,409300
Svezia.	Libbra . .	12 »	0,356319

(1) L'oncia consta di 20 danari ed il danaro di 24 grani. Lo stesso è degli altri pesi italiani.

(2) Si divide come la libbra italiana.

(3) Si divide in 3 scrupoli e lo scrupolo in 10 grani.

(4) È conosciuta in tutta la Germania, la cui oncia si divide in 8 dramme, la dramma in 3 scrupoli e lo scrupolo in 20 grani.

(5) L'oncia si divide in 24 danari od 8 grossi, ed il grosso in 72 grani, di cui 24 fanno per conseguenza un danaro. Once 8 fanno poi un marco.

(6) L'oncia si divide in 6 *solotnick* e 40 libbre formano un *pood*.

III. *Pesi specifici dei solidi e liquidi, l'acqua a zero per unità* (§. 431).

1. METALLI.

Acciaio	7,795
Antimonio	6,702
Argento colato	10,414
» compresso. . .	10,622
» a $^9/_{10}$ di fino . .	10,408
Argentone (*pacfond*) . .	8,708
Arsenico	5,628
Bismuto colato . . : .	8,716
» compresso. . .	9,822
Bronzo	8,950
Cadmio colato	8,604
» compresso. . .	8,694
Cromo	5,900
Cobalto colato . . .	7,811
» compresso. . .	9,452
Ferro colato	7,231
» compresso . . .	7,788
» meteorico . .	7,830 / 7,600
Ghisa comune . . .	7,212
Iridio ed osmio (1). .	23,640
Latta o tolla	8,395
Manganese	7,600
Mercurio corrente . . .	13,596
» solidificato . .	14,391
Molibdeno	7,500 / 8,600
Nicolo colato	8,279
» compresso . . .	8,666
Oro nativo	18,000
» colato	19,258
» compresso	19,361
» d'un luigi	17,657
» a 20 carati. . . .	15,719
Ottone . :	7,800 / 8,400
Palladio colato	11,550
» compresso. . .	12,148
Piombo	11,352 / 11,445
Platino colato	20,855
Platino battuto	21,514
» in filo	19,267
Potassio	0,865
Rame colato.	8,788
» battuto	9,000
» in filo.	8,875
Sodio	0,972
Stagno colato	7,291
» battuto	7,799
Titanio	5,280
Uranio	9,000
Zinco*.	6,915

2. MINERALI NON METALLICI.

Agata	2,590
Alabastro	2,700
Allume	1,714
Alumina	1,200 / 1,740
Ambra	1,080
Amianto	2,050 / 2,800
Antracite	1,400 / 1,480
Ardesia . . : . . .	2,830
Arena	1,910
Areolite	3,550 / 3,600
Asfalto	1,070
Argilla	1,800 / 2,550
Barite	3,300 / 4,800
Basalto	2,722 / 2,864
Calamita	4,264 / 5,000

(1) Questi corpi sono forse i più densi che si conoscano (§. 437).

Calce . . .	1,842
Calcedonia	2,207
	2,691
Caolino . .	2,210
Cinabro	8,099
Corallo	2,689
Corniola . . .	2,620
Creta . . .	2,252
	2,675
Cristallo comune	2,400
» **crovno** . . .	2,892
	3,000
» **flinto** . .	3,158
	3,443
» **di rocca** .	2,685
	3,770
» **d'Islanda** . . .	2,715
Diamante	3,400
	3,600
Diaspro	2,764
	3,450
Feldspato	1,841
	2,717
Fosforo	1,770
Gesso . . .	2,275
	2,964
Giacinto . .	4,559
	4,680
Grafite	2,500
	2,100
Granato ordinario . .	3,668
	3,757
» **fino** .	3,839
	4,230
Granito ital. a macc. nere	2,043
» » a macc. rosse e nere .	2,610
» **estero** d'Europa .	2,538
» » d'Egitto	2,654
Iodio	4,948
Lava	2,795
	2,825
Malachite . . .	3,670
	4,001
Marmo bianco comune	2,828
» **di Carrara** . .	2,717
» **di Paro**	2,838
» **nero** d'Italia	2,712
» **breccia** .	2,687
» **lumachella**	2,673

Marmo serpentino (gabro).	**2,450**
» serpentino comune	**2,669**
» di Viarena . . .	**2,723**
» del duomo di Milano	**2,896**
Matita rossa fina . . .	**3,130**
» rossa ordinaria. .	**2,990**
Mattoni di terra cotta .	**1,928**
Mica . .	**2,654**
	2,934
Minio . .	**8,940**
Orpimento	**3,480**
Perla comune	**2,750**
» orientale	**2,684**
Pietra focaia . .	**2,594**
	2,700
» di Mapello . . .	**2,632**
» di Viggiù . . .	**2,715**
» Bevola	**2,615**
» pomice	**1,150**
» Brembate (Chieppo)	**2,222**
» Lavagna	**2,854**
» molare	**2,506**
Piombaggine (matita nera) .	**2,167**
Porcellana chinese. . .	**2,385**
» europea . .	**2,146**
Porfido	**2,700**
	2,800
Pozzolana	**1,172**
Quarzo	**2,652**
Rubino	**3,990**
Sabbia od arena e terra .	**1,708**
Sale comune. . . .	**2,170**
	2,300
» ammoniaco. . . .	**1,450**
» di Glaubero . . .	**1,470**
» nitro	**1,900**
Sandracca . .	**1,050**
Schiuma di mare . .	**1,270**
	1,600
Smeraldo. .	**2,678**
	2,775
Solfo in fiori . . .	**1,920**
	1,990
» nativo . .	**2,070**
	2,100
» cristallizzato. . .	**2,033**
Spato d'Islanda. . . .	**2,713**
Spato pesante .	**4,412**
	4,679
Tegole di terra cotta . .	**1,928**

Topazio	3,490
	3,560
Tormalina	3,000
	3,300
Vetro comune	2,560
» verde	2,642
» da specchi	2,450
Zaffiro brasiliano	3,130
Zaffiro orientale	4,290
	4,830

3. LEGNI E SOLIDI ANALOGHI.

Abete	0,550
Acero	0,750
Alloro	0,822
Avorio	1,825
	1,917
Balsa (1)	0,129
Bosso comune	0,912
» olandese	1,025
» brasiliano	1,031
Campeccio	0,913
Carbone di legna	0,300
» fossile	1,200
	1,380
» arso o coche	1,232
	1,310
Cedro selvatico	0,596
» di Palestina	0,613
» indiano	1,315
» americano	0,561
Ciliegio	0,715
Cipresso	0,644
Cocco	0,726
Ebano americano	1,331
» indiano	1,209
» spagnuolo	0,800
Faggio	0,852
Fernambuco	1,014
Frassino	0,845
Gelso	0,897
Guaiaco	1,333
Larice	0,657
Melagrano	0,854
Melarancio	0,715
Mogano	1,063
Nespolo	0,844
Noce	0,852
Olivo	0,907
Olmo	0,800
Ontano	0,660
	0,680
Osso di bue	1,656
Pero	0,661
Pino	0,814
Pioppo comune	0,383
» bianco spagnuolo	0,589
Pomo comune	0,792
» cotogno	0,705
Quercia	0,914
Salice	0,585
Sambuco	0,693
Sovero	0,240
Susino	0,785
Tasso olandese	0,788
» spagnuolo	0,807
Tiglio	0,604
Vite	1,215

4. MATERIE GRASSE ED IN POLVERE.

Amido	1,530
Butirro	0,942
Canfora	0,986
Cenere di faggio	2,850
Cera gialla	0,965
» bianca	0,969
Cotone in fili	1,270
Farina di frumento	1,490
Gomma arabica	1,432
» elastica	0,934
» lacca	1,139
Grasso di bue	0,923
» di montone	0,924
» di porco	0,937
» di vitello	0,934
Indaco	0,769
Lana	1,290
Lardo	0,948
Miele	1,450
Oppio	1,336
Pece	1,072
Resina di pino	1,073

(1) Legno conosciuto da pochi anni in Europa, il quale è il solido di minor peso specifico che si conosca *Annali di fisica* ecc., seconda serie, t. I, pag. 100.

Sego	0,940
Seta (fili di bozzolo) . .	1,560
Stoppa di lino	1,450
Zucchero	1,606

5. LIQUIDI (§. 533)

Acido acetico concentrato	1,279
» acetico diluito . .	1,063
» nitrico fumante. .	1,451
» nitrico del comm. .	1,220
» oleico	0,898
» solforico concent. .	1,841
» iposolforico . .	1,347
Acqua distillata (1). . .	1,000
» agghiacc., medio .	0,950
» in neve (§.1716) .	0,100
» di mare (§.1648)	1,026 1,029
» del Mare Morto .	1,212
Alcoole puro od assoluto .	0,792
» del commercio .	0,857
Ammoniaca liquida . .	0,875
Birra	1,023 1,034
Bromo	1,966
Etere acetico . . .	0,866
» solforico. . .	0,710 0,758
Latte	1,020 1,041
Mercurio (§. 617) . . .	13,596
Nafta	0,847
Olio d'anice	0,986
» di balena	0,927
» di bergamotto. . .	0,888
» di finocchio . . .	0,997
» di garofani. . . .	1,034
» di lavanda	0,893
» d'amandole . . .	0,920
» di noce. . . .	0,947
» di ricino	0,970
» di rose	0,832
» di rosmarino . . .	0,889
» di semi di lino . .	0,940
» di trementina . . .	0,792
» d'ulive	0,915
Orina umana	1,011
Petrolio	0,758 0,836
Solfuro di carbonio . .	1,263
Vino d'Italia comune . .	0,997
» di Francia bianco .	1,020
» di Francia rosso . .	0,993
» di Malaga	1,022
» del Reno	1,002
» di Tocai.	1,034

IV. *Peso specifico dei fluidi aeriformi.*

Il peso specifico di quelli permanenti, o *gas*, è riferito ai §§. 617 e 792, pag. 100. In quanto ai fluidi non permanenti o *vapori* il peso specifico del vapore acqueo si determina colla formola (§.620): $d = \frac{p.\ 2,44}{2182,65+8t}$, dove p esprime la tensione massima alla temperatura t. La formola dà il peso specifico o la densità relativamente all'aria presa per unità; e riferito all'acqua adottata come unità si ot-

(1) Pel peso specifico o la densità dell'acqua a differenti temperature. V §.965.

tiene dall'altra (§. 1660). $d = p \frac{0,001443856}{1364,2+5t}$. Ecco il peso specifico d'altri vapori riferito all'aria a zero presa come unità:

VAPORI.

Dell'acido acetico . . .	2,7700	Dell'etere idroiodico . .	5,4749
Dell'acqua a 100° (§. 619).	0,6235	» solforico . .	2,5860
Dell'alcoole assoluto . .	1,6133	Del fosforo	4,4200
Del bromo	5,5400	Dell'iodio	8,7160
Della canfora	5,4680	Del mercurio	6,9760
Dell'essi di trementina .	4,7630	Del solfo	6,6170
Dell'etere cloridrico . .	2,2190	Del solfuro di carbonio .	2,6440

V. *Tensione del vapor acqueo* (1).

-10°,0	2mm,078	—7°,5	2mm,561	—5°,0	3mm,131
9,9	2,096	7,4	2,582	4,9	3,156
9,8	2,114	7,3	2,603	4,8	3,181
9,7	2,132	7,2	2,624	4,7	3,206
9,6	2,150	7,1	2,645	4,6	3,231
9,5	2,168	7,0	2,666	4,5	3,257
9,4	2,186	6,9	2,688	4,4	3,283
9,3	2,204	6,8	2,710	4,3	3,309
9,2	2,223	6,7	2,732	4,2	3,335
9,1	2,242	6,6	2,754	4,1	3,361
9,0	2,261	6,5	2,776	4,0	3,387
8,9	2,280	6,4	2,798	3,9	3,414
8,8	2,299	6,3	2,821	3,8	3,441
8,7	2,318	6,2	2,844	3,7	3,468
8,6	2,337	6,1	2,867	3,6	3,495
8,5	2,356	6,0	2,890	3,5	3,522
8,4	2,376	5,9	2,914	3,4	3,550
8,3	2,396	5,8	2,938	3,3	3,578
8,2	2,416	5,7	2,962	3,2	3,606
8,1	2,436	5,6	2,986	3,1	3,634
8,0	2,456	5,5	3,010	3,0	3,662
7,9	2,477	5,4	3,034	2,9	3,691
7,8	2,498	5,3	3,058	2,8	3,720
7,7	2,519	5,2	3,082	2,7	3,749
7,6	2,540	5,1	3,106	2,6	3,778

(1) È questa la *tavola* promessa al § 613, nella quale la tensione è esposta di decimo in decimo pei primi 27 gradi e ciò per l'uso del psicrometro, come ai §§. 638 e 1703. Per la tensione del vapore degli altri liquidi si vegga il §. 646.

−2°,5	3mm,807	+2°,5	5mm,491	+7°,5	7mm,751
2,4	3,836	2,6	5,530	7,6	7,804
2,3	3,865	2,7	5,569	7,7	7,857
2,2	3,895	2,8	5,608	7,8	7,910
2,1	3,925	2,9	5,647	7,9	7,964
2,0	3,955	3,0	5,687	8,0	8,017
1,9	3,985	3,1	5,729	8,1	8,072
1,8	4,016	3,2	5,767	8,2	8,126
1,7	4,047	3,3	5,807	8,3	8,181
1,6	4,078	3,4	5,848	8,4	8,236
1,5	4,109	3,5	5,889	8,5	8,291
1,4	4,140	3,6	5,930	8,6	8,347
1,3	4,171	3,7	5,972	8,7	8,404
1,2	4,203	3,8	6,014	8,8	8,461
1,1	4,235	3,9	6,055	8,9	8,517
1,0	4,267	4,0	6,097	9,0	8,574
0,9	4,299	4,1	6,140	9,1	8,632
0,8	4,331	4,2	6,183	9,2	8,690
0,7	4,364	4,3	6,226	9,3	8,748
0,6	4,397	4,4	6,270	9,4	8,807
0,5	4,430	4,5	6,313	9,5	8,865
0,4	4,463	4,6	6,357	9,6	8,925
0,3	4,497	4,7	6,401	9,7	8,985
0,2	4,531	4,8	6,445	9,8	9,045
0,1	4,565	4,9	6,490	9,9	9,105
0,0	4,600	5,0	6,534	10,0	9,165
+0,1	4,633	5,1	6,580	10,1	9,227
0,2	4,667	5,2	6,625	10,2	9,288
0,3	4,700	5,3	6,671	10,3	9,350
0,4	4,733	5,4	6,717	10,4	9,412
0,5	4,767	5,5	6,763	10,5	9,474
0,6	4,801	5,6	6,810	10,6	9,537
0,7	4,836	5,7	6,857	10,7	9,601
0,8	4,871	5,8	6,904	10,8	9,665
0,9	4,905	5,9	6,951	10,9	9,728
1,0	4,940	6,0	6,998	11,0	9,792
1,1	4,975	6,1	7,047	11,1	9,857
1,2	5,011	6,2	7,095	11,2	9,923
1,3	5,047	6,3	7,144	11,3	9,989
1,4	5,082	6,4	7,193	11,4	10,054
1,5	5,118	6,5	7,242	11,5	10,120
1,6	5,155	6,6	7,292	11,6	10,187
1,7	5,191	6,7	7,342	11,7	10,255
1,8	5,228	6,8	7,392	11,8	10,322
1,9	5,265	6,9	7,442	11,9	10,389
2,0	5,302	7,0	7,492	12,0	10,457
2,1	5,340	7,1	7,544	12,1	10,526
2,2	5,378	7,2	7,595	12,2	10,596
2,3	5,416	7,3	7,647	12,3	10,665
2,4	5,454	7,4	7,699	12,4	10,734

12,5	10,804	+17,5	14mm,882	+22°,5	20mm,265
12,6	10,875	17,6	14,977	22,6	20,389
12,7	10,947	17,7	15,072	22,7	20,514
12,8	11,019	17,8	15,167	22,8	20,639
12,9	11,090	17,9	15,262	22,9	20,763
13,0	11,162	**18,0**	15,357	**23,0**	20,888
13,1	11,235	18,1	15,454	23,1	21,016
13,2	11,309	18,2	15,552	23,2	21,144
13,3	11,383	18,3	15,650	23,3	21,272
13,4	11,459	18,4	15,747	23,4	21,400
13,5	11,530	18,5	15,845	23,5	21,528
13,6	11,605	18,6	15,945	23,6	21,659
13,7	11,681	18,7	16,045	23,7	21,790
13,8	11,757	18,8	16,145	23,8	21,921
13,9	11,832	18,9	16,246	23,9	22,053
14,0	11,908	**19,0**	16,346	**24,0**	22,184
14,1	11,986	19,1	16,449	24,1	22,319
14,2	12,064	19,2	16,552	24,2	22,453
14,3	12,142	19,3	16,655	24,3	22,588
14,4	12,220	19,4	16,758	24,4	22,723
14,5	12,298	19,5	16,861	24,5	22,858
14,6	12,378	19,6	16,967	24,6	22,996
14,7	12,458	19,7	17,073	24,7	23,135
14,8	12,538	19,8	17,179	24,8	23,273
14,9	12,619	19,9	17,285	24,9	23,411
15,0	12,699	**20,0**	17,391	**25,0**	23,550
15,1	12,781	20,1	17,500	25,1	23,692
15,2	12,864	20,2	17,608	25,2	23,834
15,3	12,947	20,3	17,747	25,3	23,976
15,4	13,027	20,4	17,826	25,4	24,119
15,5	13,112	20,5	17,935	25,5	24,261
15,6	13,197	20,6	18,047	25,6	24,406
15,7	13,281	20,7	18,159	25,7	24,552
15,8	13,366	20,8	18,271	25,8	24,697
15,9	13,451	20,9	18,383	25,9	24,842
16,0	13,536	**21,0**	18,495	**26,0**	24,988
16,1	13,623	21,1	18,610	26,1	25,138
16,2	13,710	21,2	18,724	26,2	25,288
16,3	13,797	21,3	18,839	26,3	25,438
16,4	13,885	21,4	18,954	26,4	25,588
16,5	13,972	21,5	19,069	26,5	25,738
16,6	14,062	21,6	19,187	26,6	25,891
16,7	14,151	21,7	19,305	26,7	26,045
16,8	14,241	21,8	19,423	26,8	26,192
16,9	14,331	21,9	19,541	26,9	26,351
17,0	14,421	**22,0**	19,659	**27,0**	26,505
17,1	14,513	22,1	19,780	27,1	26,663
17,2	14,605	22,2	19,901	27,2	26,820
17,3	14,697	22,3	20,022	27,3	26,978
17,4	14,790	22,4	20,143	27,4	27,136

+27,°5	27mm,294	49°.	87,mm499	75°.	288mm,517
27,6	27,455	50.	91,982	76.	300,838
27,7	27,617	51.	96,661	77.	313,600
27,8	27,778	52.	101,543	78.	326,811
27,9	27,939	53.	106,636	79.	340,488
28.	28,101	54.	111,945	80.	354,643
29.	29,782	55.	117,478	81.	369,287
30.	31,548	56.	123,244	82.	384,435
31.	33,406	57.	129,251	83.	400,101
32.	35,359	58.	135,505	84.	416,298
33.	37,411	59.	142,015	85.	433,041
34.	39,565	60.	148,791	86.	450,344
35.	41,827	61.	155,839	87.	468,221
36.	44,201	62.	163,170	88.	486,687
37.	46,691	63.	170,791	89.	505,759
38.	49,302	64	178,714	90.	525,450
39.	52,039	65.	186,945	91.	545,778
40.	54,906	66	195,496	92.	566,757
41.	57,910	67.	204,376	93.	588,406
42.	61,055	68.	213,596	94.	610,740
43.	64,346	69.	223,165	95.	633,778
44.	67,790	70.	233,093	96.	657,535
45.	71,391	71.	243,393	97.	682,029
46.	75,158	72.	254,073	98.	707,280
47.	79,093	73.	265,147	99.	733,305
48.	83,204	74.	276,624	100.	760,000

V. (b). *Della tensione del vapor acqueo in atmosfere* (1).

Atmosfera	Gradi termom.	Atmosfera	Gradi termom.	Atmosfera	Gradi termom.	Atmosfera	Gradi termom.
1	100°,0	5 1/2	156°,8	13	193°,7	22	218°,6
1 1/2	112,2	6	160,2	14	197,2	23	221,9
2	121,4	6 1/2	163,5	15	200,5	24	224,2
2 1/2	128,8	7	166,5	16	203,6	25	226,3
3	135,1	8	172,1	17	206,6	30	236,2
3 1/2	140,6	9	177,1	18	209,4	35	244,9
4	145,4	10	181,6	19	212,1	40	252,6
4 1/2	149,1	11	186,0	20	214,7	45	259,5
5	153,1	12	190,0	21	217,2	50	265,9

(1) Questa tavola serve a valutare la forza del vapore nelle macchine mosse da un tal agente come al § 695 ed è stata dedotta dalla seconda formula del § 615

VI. *Indice di rifrazione* (§. 787).

Acido acetico. . . .	1,396	Olio di finocchio. . .	1,506
» cloridrico . . .	1,401	» di garofani . . .	1,535
» nitrico	1,406	» di noce	1,507
» solforico . . .	1,434	» di ricino	1,490
Acqua	1,336	» di trementina . .	1,475
Alcoole	1,372	» d'ulive	1,470
Alume	1,457		1,467
Ambra	1,547	Perla	1,653
Calcedonia	1,553	Rubino	1,779
Canfora	1,487	Salgemma	1,557
Cristallino dell' occhio	1,463	Salnitro	1,524
bovino	1,447		1,335
Cristallino dell' occhio		Solfato di ferro . . .	1,494
umano	1,399	» di calce . . .	1,525
Cromato di piombo .	2,974	» di rame . .	1,552
	2,926		1,531
	2,500	Solfuro di carbonio . .	1,678
Crovno (cristallo) . .	1,534	Spato calcare rifrazione	
Diamante	2,487	ordinaria	1,603
	2,470	straordinaria . . .	1,483
	2,439	Topazio rifraz. ordin. .	1,653
Dicroite	1,544	» straor.	1,640
Etere	1,358	Trementina	1,557
Feldspato	1,764	Umore acqueo dell'occ.	1,337
Flinto (cristallo) . .	1,639	» vitreo	1,339
	1,590	Vetro comune . . .	1,538
Fosforo	2,224	» di piom. e flint.	2,028
Ghiaccio	1,309		1,752
Granato	1,724	» di bottiglia . .	1,580
Olio d'amandole. . .	1,603	Zaffiro azzurro . . .	1,794
» d'anice	1,601	» bianco . . .	1;768
» di bergamotto . .	1,471	Vuoto	1,000
» di cassia	1,641	Aria	1,000294

VII. *Dilatazione lineare dei solidi da 0° a 100°* (1).

	IN FRAZIONE decimale	IN FRAZIONE ordinaria
Acciaio in verghe sottili	0,00115000	$\frac{1}{870}$
	0,00114400	$\frac{1}{874}$

(1) Si veggano i §§ 432, 975 e 977

	In frazione decimale	In frazione ordinaria
Acciaio temperato	0,00122500	$\frac{1}{816}$
Argento	0,00190970	$\frac{1}{524}$
Bismuto	0,00139167	$\frac{1}{719}$
Ferro	0,00125833	$\frac{1}{795}$
	0,00118210	$\frac{1}{846}$
» colato	0,00111000	$\frac{1}{901}$
» in filo	0,00144010	$\frac{1}{694}$
Ottone	0,00193333	$\frac{1}{517}$
Piombo	0,00286667	$\frac{1}{349}$
Platino	0,00099180	$\frac{1}{1008}$
	0,00088420	$\frac{1}{1131}$
Rame	0,00187500	$\frac{1}{533}$
	0,00189296	$\frac{1}{528}$
» compresso	0,00170000	$\frac{1}{588}$
Stagno	0,00228333	$\frac{1}{438}$
Vetro in tubi	0,00085333	$\frac{1}{1175}$
	0,00077550	$\frac{1}{1289}$

	IN FRAZIONE decimale	IN FRAZIONE ordinaria
» in bacchette	0,00080833	$\frac{1}{1237}$
	0,00086133	$\frac{1}{1161}$
Zinco	0,00294167	$\frac{1}{340}$

VIII. *Dilatazione in volume dei fluidi da 0° a 100° (1).*

	IN FRAZIONE decimale	IN FRAZIONE ordinaria
Acqua (2)	0,0455	$\frac{1}{22}$
Alcoole	0,1111	$\frac{1}{9}$
Tutti gli aeriformi	0,3665	$\frac{11}{30}$
Mercurio	0,0180	$\frac{100}{5555}$

IX *Calorico specifico dei corpi sotto l'egual massa relativamente all'acqua come unità* (3).

Acido carbonico	0,22100	Azoto	0,27340
» solforico	0,34900	Bismuto	0,03084
Acciaio comune	0,11848	Bromo	0,13800
» raffinato	0,12728	Cadmio	0,05669
Acqua	1,00000	Carbonato di calce . .	0,20858
Alcoole	0,63200	» di ferro . .	0,19345
Antimonio	0,05077	Carbone	0,24111
Argento	0,05701	Cloruro d'argento . .	0,09109
Aria	0,26692	» di zinco . .	0,13618

(1) Pei fluidi liquidi si veggano i §§. 530 e 966, come pure 992, pag. 500; e pei fluidi aeriformi i §§. 610, 614 e 963.

(2) Per la dilatazione dell'acqua a differenti temperature si vegga il §. 965.

(3) È questa la tavola promessa al §. 1035. Il calorico specifico dei fluidi liquidi ed aeriformi è pure riferito all'acqua sotto l'egual massa, che si riduce sotto l'egual volume secondo le norme spiegate (§ 1036)

Cobalto puro. . . .	0,10696	Ossigeno . .	0,23610
» carburato . .	0,11712	Ottone. . . .	0,09391
Creta	0,21485	Palladio	0,05927
Diamante	0,11920	Perossido di ferro . .	0,16695
Essenza di trementina.	0,42593	Piombo	0,03140
Etere solforico . . .	0,53000	Platino laminato. .	0,03243
Ferro puro	0,11379	» in ispugna . .	0,03293
» di miniera. . .	0,12983	Protossido di mangan.	0,15701
Fosforo	0,18870	» di piombo .	0,05118
Idrogeno puro . . .	3,29360	Rame	0,09515
» bicarbonato .	0,42070	Salnitro	0,23875
Iodio	0,05401	Solfo	0,20259
Manganese	0,14411	Solfuro d'antimonio. .	0,08403
Mercurio	0,03332	» d'argento .	0,07468
Nicolo puro	0,10865	» di bismuto. .	0,06002
» carburato . .	0,11192	» di carbonio. .	0,32900
Olio di nafta	0,49300	» di mercurio .	0,05117
» d'ulive	0,50400	» di rame. . .	0,12118
Oro	0,03244	» di zinco. . .	0,12303
Ossido d'antimonio . .	0,09009	Stagno.	0,05695
» di bismuto . .	0,06053	Vapore acqueo . . .	0,84700
» di rame . . .	0,14201	Vetro	0,19768
» di mercurio . .	0,05179	Zinco	0,09555
» di zinco . . .	0,12480		

NB. Parecchie altre tavole, più o meno copiose di dati ed uso delle scienze fisiche e delle loro applicazioni ai bisogni sociali ed alle arti, si trovano nel testo dell'opera, le quali indichiamo per ordine col rispettivo paragrafo.

(1) Per tradurre i gradi del termometro d'una scala in quelli d'un'altra. Vegli al §. 998.

INDICE DEL TOMO SECONDO.

PARTE SECONDA (seguito).

PARTE TERZA.

CAPITOLO PRIMO.

CAPITOLO SECONDO.

CAPITOLO TERZO.



INDICE GENERALE

DELLE MATERIE E DEGLI AUTORI

NB. *Il numero arabico indica il paragrafo, comprendendo il tomo I dal* §. 1 *al* 734, *il vol.* 1° *del tomo II dal* §. 735 *al* 1209; *il vol.* 2° *del tomo II dal* 1210 *al* 1764.

tenuta dalle medesime rapporto alla grossezza dei fili, al diametro delle spirali ed al numero dei loro giri 1373 — rapporto alla velocità di rivolgimento delle spirali medesime 1373—elettromotore telluro-elettrico 1373 V Magnetismo di rotazione

ELETTRICITÀ Per pressione 1319 1320 e 1321 — per fregamento 1220 — per sfaldatura e lavoramento 1322 — per abrasione 1323 — per frattura 1323 — pel calore e fenomeni della tormalina e con altri corpi 1324 — sperienze colla tormalina 1325 — con altri corpi 1326 — fenomeni appartenenti a questa categoria 1326 — altri fenomeni di questa specie dipendenti dall'elettricità di contatto 1327 — per azione chimica 1327 e 1328 — colla combustione 1329 — per l'adesione dei solidi fra loro 1340 — e dei solidi coi liquidi 1347 — per l'azione organica dei vegetali 1330 e 1489 — per l'azione organica animale Della rana 1490 — dei muscoli rana 1491 — corrente muscolare e più animale 1491 — corrente fisiologica 1491 V Motori dell'elettricità e Pesce elettrico

ELETTRICO o fluido elettrico 1213 e 1236 — conduttori e deferenti, e coibenti ed isolatori 1214 — cambiamento di conducibilità 1215 — mezzo per sottrarlo 1216 1227 e 1226 — proprietà delle punte, fiocco e stellette 1224 — stato elettrico apparente 1226 — si dispone alla superficie dei corpi 1237 — fenomeni che ne dipendono 1238 — si equilibra dai fluidi coi corpi in ragione della loro conducibilità 1240 — fenomeni dipendenti da questa legge 1341 — e lo stesso fluido tanto generato colla macchina elettrica quanto colla pila 1360 — considerazioni sulla sua natura 1504 V Elettricità Macchina elettrica, Pila, Distribuzione e Dispersione dell'elettrico, Lastra coibente armata e Scarica

ELETTRICO Applicazioni alla telegrafia 1487 — diversi maniere di comunicazione 1488 — alla metallurgia per saggiare e separare i metalli 1502 — alla produzione del gas illuminante 1302 — all'illuminazione 1412 — alla costruzione di diversi apparati e di altre arti V Eudiometro, Pistola di Volta, Accendilume elettrico, Elettroforo, Boccia di Leida, Galvanoplastica, Indoratura, Inargentatura, Leghe metalliche, Metallocromia, Piastre preservatrici

ELETTRIZZARE Un corpo 1234 e 1235 — una persona 1236 — per contatto 1305

ELETTRODI Anodo e catodo 1377 e 1473

ELETTROFORO 1290 — caricarlo colla boccia di Leida 1347 — elettricità positiva nella stagnuola ritenuta dissipata colla scala 1347

ELETTROLITO 1357 e 1473.

ELETTROLIZZARE ed elettrolizzazione 1473

ELETTRO-MAGNETE V Calamita temporaria

ELETTRO-MAGNETISMO Primi fatti 1309 — filo congiuntivo percorso dalla corrente attrae la limatura di ferro 1340 — magnetizzazione degli aghi d'acciaio colla corrente 1341 — calamita permanente fatta coll'elettrico 1341 — calamita temporaria ed elettro-magnete 1342 1343 e 1344 — forza elettro magnetica impiegata come motore 1345 — azione prodotti dai metalli magnetici ed altri corpi per mezzo dell'elettrico 1346 1347 1348 1349 1350 e 1351 — azione della corrente sull'ago calamitato 1352 — leggi della medesima 1353 — azione dell'elettrico in corrente sull'ago magnetico 1358. V Galvanometro, Elettricità dinamica; Elettricità indotta

ELETTROMOTORE Apparato per mettere in azione l'elettrico proprio della materia. Differenze da rocomotore come il genere della specie. Essi e di stroperimento Voltiano, Termoelettrico, Per induzione, Magnetico ecc. 1342 e 1300 — perpetuo di Zamboni 1300 — per induzione 1372 ed esperienze col medesimo 1372 — magnetico 1360 e 1370 — telluro-elettrico 1373 ed esperienze sul medesimo 1373 V Elettricità indotta; e Pila

ELETTROSCOPIO ed ELETTROMETRO 1240 — a pendolo 1240 — ad ago 1240 — spinterometro 1240 — a quadrante 1240 — a pagliuzze 1250 — a pagliuzze 1250 — a foglietta 1250 — osservazioni su questi strumenti 1254 — micro-elettrometro 1254 — comparabilità dei medesimi 1255 — per le due elettricità 1260 — condensatore 1296 — a spato islandico 1334 — ad ago con pila a secco 1300 — a pila per le due elet-

(1) L'Alberti, nel migliorare il vocabolario della Crusca, ha creduto di non fare cangiamento alla parola suono per significare il suono delle note musicali, esprimendo tuono soltanto il fragore, che accompagna la folgore. Egualmente fecero i migliori compilatori venuti dappoi, quali sono quelli dei vocabolari di Padova, di Napoli ed altri. Ma dopo aver letto le giudiziose osservazioni del Grassi e del Gherardini sul proposito di scrivere, conforme alla ragione etimologica, tono per suoni musicali, noi adottiamo l'ortografia loro dei due chiarissimi filologi italiani; e mentre lasciamo la parola tuono per significare il rumore che accompagna la folgore, scriviamo l'altra di tono per esprimere le note musicali in ogni luogo dove se ne parla nel nostro libro. In tal modo vediamo come la *filosofia* provvegga al [illegible] per purgare la nostra bella lingua dagli errori, per migliorarla in ogni sua parte e per renderla più esatta nelle diverse significazioni dei vocaboli, non confondendo due opposte e pur ambo [illegible] nella sola e medesima parola.

EMENDAZIONI ED AGGIUNTE ALL'INDICE

Arago. *Invece di* 1796 *leggi* 1696; *aggiungi*. scintillazione degli astri 1763.

Boutigny. *Invece di* 1033 *leggi* 1133

CALORICO *colla semplice adesione. Invece di* 1188 *leggi* 1186.

Cassini. *Invece di* 744 *leggi* 741.

CRISTALLI. *Invece di* 472 *leggi* 432.

DISPERSIONE. *Invece di* 811 *leggi* 811 ed 815.

EFFETTI *del ecc. Aggiungi*: della luce. V. *Luce* calorico. V. *Calorico*.

ELETTROSCOPIO. *Invece di* 1344 *leggi* 1314.

Galilei. *Aggiungi*. linee nodali nel suono delle lamine elastiche. 715.

Maskelyne. *Aggiungi*: natura della gravità. 421.

Mitscherlich. Dilatazione dei cristalli pel calorico. 973.

NOMENCLATURA *Aggiungi* dei venti. 1681—delle nubi 1711.

SFALDATURA. Uno dei mezzi per eccitare l'elettrico nei corpi. 1322.

È da tutti riconosciuto, lo ripetiamo, che un libro inspira maggiore fiducia nella correzione della stampa, *quando l'*errata-corrige è copioso, *dimostrandosi nell'Autore, anche dopo l'ultimazione del suo lavoro, la diligenza usata onde renderlo, per quanto è possibile, scevro di quei difetti per cui venissero alterati od offuscati i suoi pensieri ed i suoi dettati. All'appoggio di tale massima si è compilato il presente* errata-corrige.

NEL TOMO II.

				ERRORI.	EMENDAZIONI
Pag.	7	*linea*	5	364 mila	364 milioni
»	11	»	7	ossia $\frac{2d}{b}$	ossia *log.* $\frac{2d}{b}$
»	26	»	4	$cos\ (180-)=v$	$cos\ (180-x)=$
»	28	»	23	$s'bp'$	$s'bp$
»	30	»	18	lunghezza delle	lunghezza della
»	33	»	31	$sac',g'ae'$	$sac'=g'ae'$
»	83	»	33	nel prima	nel prisma
»	84	»	11	$i+r'-c$	$i+r'-v$
»	84	»	22	degli augoli	degli angoli
»	90	»	32	$erR=v$	$erR=i$
»	93	»	20	rifrazione r	rifrazione r^n
»	95	»	4	$-v'\ (n'+r),\ v\ (n-1)$	$-v'\ (n'+1)=v\ (n-1)$
»	110	Nella prima equazione invece di $nr-1$, ultimo termine del divisore, *leggi* $nr-r$			
»	110	»	6	dal punto	del punto
»	111	»	2	$d=\frac{-dp}{-d-p}$ ossia	$f=\frac{-dp}{d+p}$ ossia
»	129	»	14	(fig. 97)	(fig. 87)
»	175	»	4	complimentario	complementario
»	175	»	34	cristallo e lo	cristallo o lo
»	217	»	19	certa distanza	corta distanza
»	220	»	33	zefiro	zafiro
»	249	»	11	è pure	sono pure
»	274	»	24	angolo ACB	angolo ASB
»	324	»	32	punto F	punto f
»	325	»	28 e 29	*n* il raggio lucido *mq*	*m* il raggio lucido *mq*
»	410	»	45 e 46	del rispettivo	dal rispettivo
»	417	»	6	larghezza	larghezza (fig. 226)
»	417	»	37	3277°.... 1802,8	32277° .. 17014°
»	424	»	10	(§. 1040)	(§. 1009)
»	447	»	10	200+30	200×30
»	456	»	21	di un quarto	di un quinto
»	468	»	8	bensì dal	bensì del

			ERRORI	EMENDAZIONI
Pag	493	*nota*	t. XXVI	t. XXVII
»	545	*linea* 4	dalla luce.	della luce
»	602	» 15	$at-79=g(g+a)\theta$	$at-79g=(g+a)\theta$
»	620	» 8	del vetro	dal vetro
»	641	» 20	fondersi	consolidarsi
»	666	» 27	di solfo	di vetro
»	671	» 6	per toglierli	più toglierli
»	673	» 1	attratto, a	attratto, o
»	680	*ult. not.*	1735	1835
»	691	» 31	alcuni corpi	alcuni casi
»	719	» 24	strati elettrici	stati elettrici
»	755	» 19	depongono	decompongono
»	795	*ult. nota*	dei medesimi *Annali*	*Annali di fisica* più volte cit.
»	798	» 3	igrometria	eudiometria
»	809	» 22	(fig. 240)	(fig. 346)
»	813	» 12	(fig. 346)	(fig. 346 *bis*)
»	816	» 29	del metallo	dal metallo
»	825	» 6	palla *m*	palla *h*
»	857	» 21	Il periodo, che incomincia: *La disposizione* e finisce *della pila*, si collochi nel seguente a capo prima delle parole. *Ho tenuto altresì*	
»	863	» 9	il comotore	il reomotore
»	880	» 6	dall'elettricità	dell'elettricità
»	890	» 29	(fig. 595)	(fig. 585)
»	915	» 4 e 7	lenti	lente
»	920	» 26	pei muscoli	nei muscoli
»	943	*nota* (2)	*Si aggiunga*. Brugnatelli pubblicò il processo per indorare e platinare nei detti suoi *Annali di chimica*, vol. del 1805.	
»	954	*nota*	Wan-Swinden	Van-Swinden
»	968	» 31	(fig. 344)	(fig. 444)
»	982	» 8	l'effetto dalla	l'effetto della
»	982	» 12	ordinario, come si è altrove notato (§.1340).	ordinario (§. 1340) e delle correnti indotte (§.1574).
»	984	» 8	di *sg*	di *fg*
»	992	» 2	punto *d*. Nell'angolo...	punto d. Nell'angolo *adc* le due correnti si avvicinano e perciò, essendo dirette verso la stessa parte, fra loro si attraggono (§.1535) Nell'angolo
»	1005	» 20	e la *f* in boreale	e la F in boreale
»	1008	» 8	ancor percossa	ancor percorsa

		ERRORI.	EMENDAZIONI.
Pag 1008	*linea penul.*	dalla resistenza	della resistenza
» 1009	» 15	ed $F=\frac{1}{004}\gamma$	ed $F=\frac{1}{101}\gamma$
» 1029	» 23	Sia *ns*	Sia NS
» 1108	» 4	da quel	di quel
» 1130	» 16	Rosso (§. 1652)	Rosso (§. 1653)
» 1142	» 15 e 16	$f=\frac{F'(1+cT)}{1+ct}$	$f=\frac{F'(1+ct')}{1+ct}$
» 1142	» 17	f=9,408	f=5,421
» 1142	» 18	$q=\frac{42,59(17,593-9,408)}{762}$	*si legga invece* $q=\frac{42,59(17,593-5,421)}{762}$
» 1142	» 18 e 20	q=0,44	q=0,686
» 1142	» 22	di decigram. 0,66	di decigram. 1,029
» 1144	» 22	1,0000746	0,9999254
» 1144	» 23	$m=p\frac{1,0000746\times0,001443856}{13642,+5t}$	*si legga invece* $m=p\frac{1,0000746\times0,001443856}{1364,2+5t}$
» 1144	» 28	$m=p\frac{1443.904}{1364,2+5t}$	$m=p\frac{1443,748}{1364,2+5t}$
» 1144	» 30 e 32	93373	9,3361
» 1145	» 2	(§. 1651)	(§. 1658)
» 1153	»	(Si levi l'indicazione del §. 1667 e si applichi nella pagina precedente avanti alla parola - *La media annuale*)	
» 1161	» 20	dalle ore 9	delle ore 9
» 1205	*nota* (1)	novembre 1647	novembre 1847
» 1247	» 3 asc.	due parti	dodici parti

NEL TOMO I.

» 193	» 14	all'estremo	dall'estremo
» 245	» 14	$\varphi=\frac{2ga}{K}$	$\varphi=\frac{2ga}{r}$
» 263	» 13	interna	intima
» 278	» 10	L=0^2,994	0^m,994
» 278	» 11	g=(3,1416) 0^2,994	$g=(3,1416)^2.0,994$
» 283	» 16	$^7/_9\,r$	$^7/_5\,r$
» 299	» 7	$x=\frac{p}{V}\ d=\frac{p}{V}$	$x=\frac{p}{V},\ d=\frac{p}{V},$
» 382	» 15	inferiore assicurato	inferiore è assicurato

Pag. 422	*linea*	3	tempo 1	tempo 0
» 479	»	7	$x = \frac{2a+mn \pm \sqrt{(2a+mn)^2 - 8am(n-1)}}{4}$	

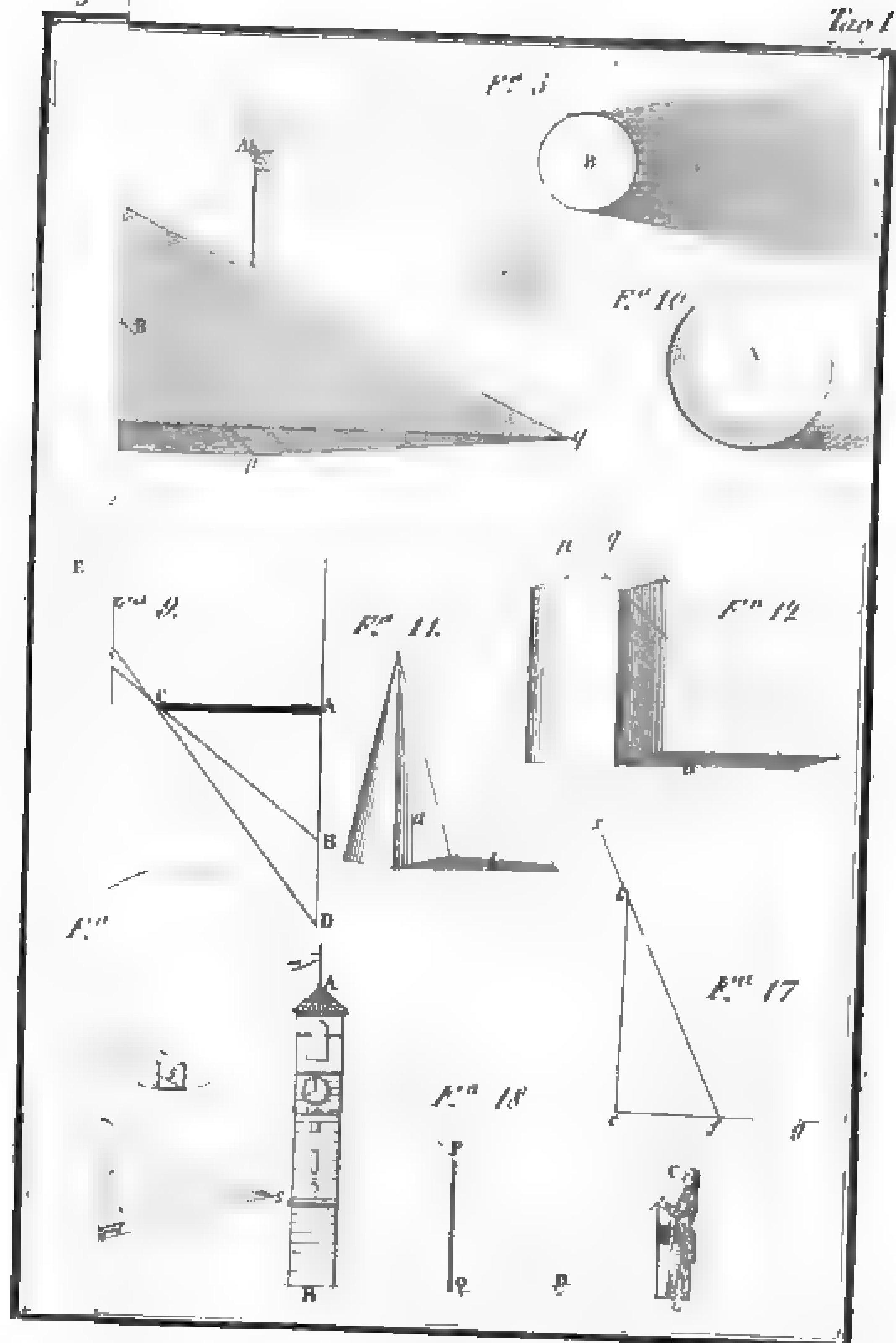
si legga invece $x = \frac{2a+mn \pm \sqrt{(2a+mn)^2 - 8am(n-1)}}{4}$

» 501 » 44 dei vapori alla stessa densità (sino alla parola dove) si legga invece: dei vapori in uno spazio libero, sono in ragione inversa dei volumi, che prendono alle diverse temperature per cui sarà:

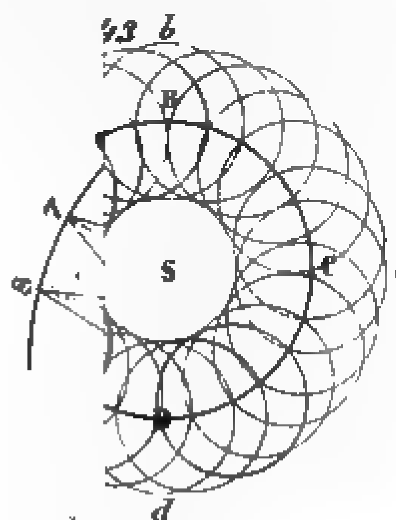
$$f : F' :: c + ct' : 1 + ct$$

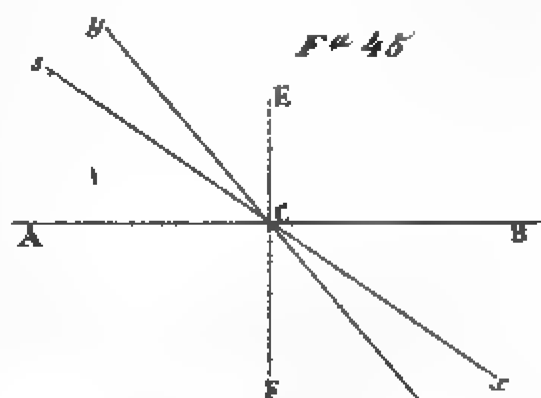
e quindi $f = \frac{F'(1+ct')}{1+ct}$. Siccome poi è $u = \frac{f}{F}$, così sarà $u = \frac{F'(1+ct')}{F(1+ct)}$, dove

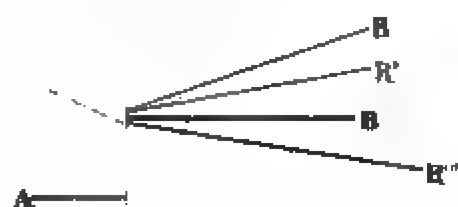
» 588	»	11	dal si basso al si	dal fa basso al fa
» 588	»	2	450 e più	360 e più

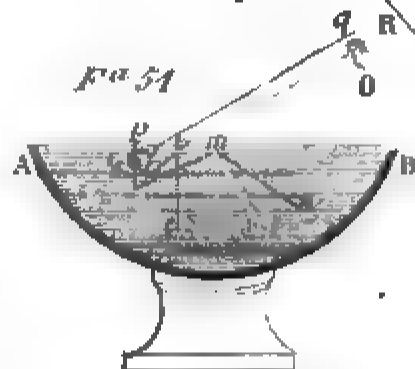

F.a 10
F.a 11.
F.a 12
F.a 17
F.a 18
A
B
C
D
E

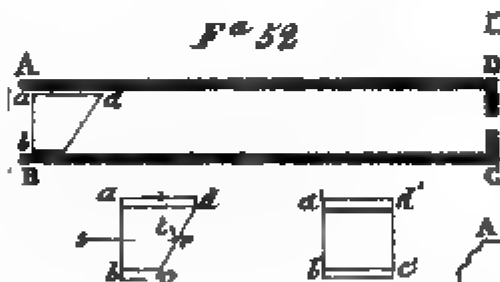


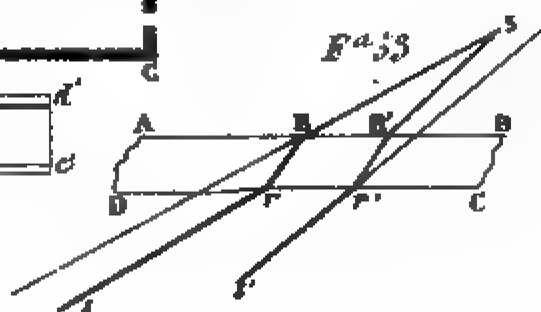

43
b
B
A
a
S
c
d

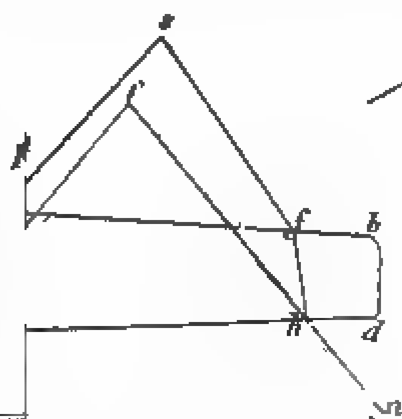

Fª 48
E
A
C
B
F
R

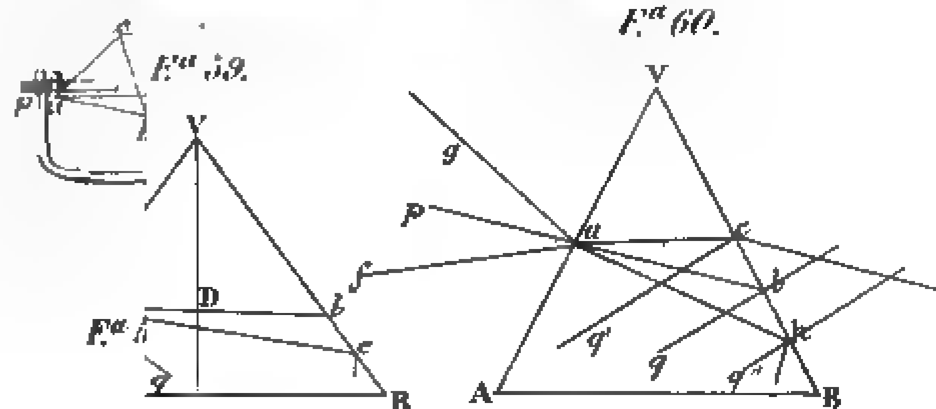

B
R'
B
R''
A

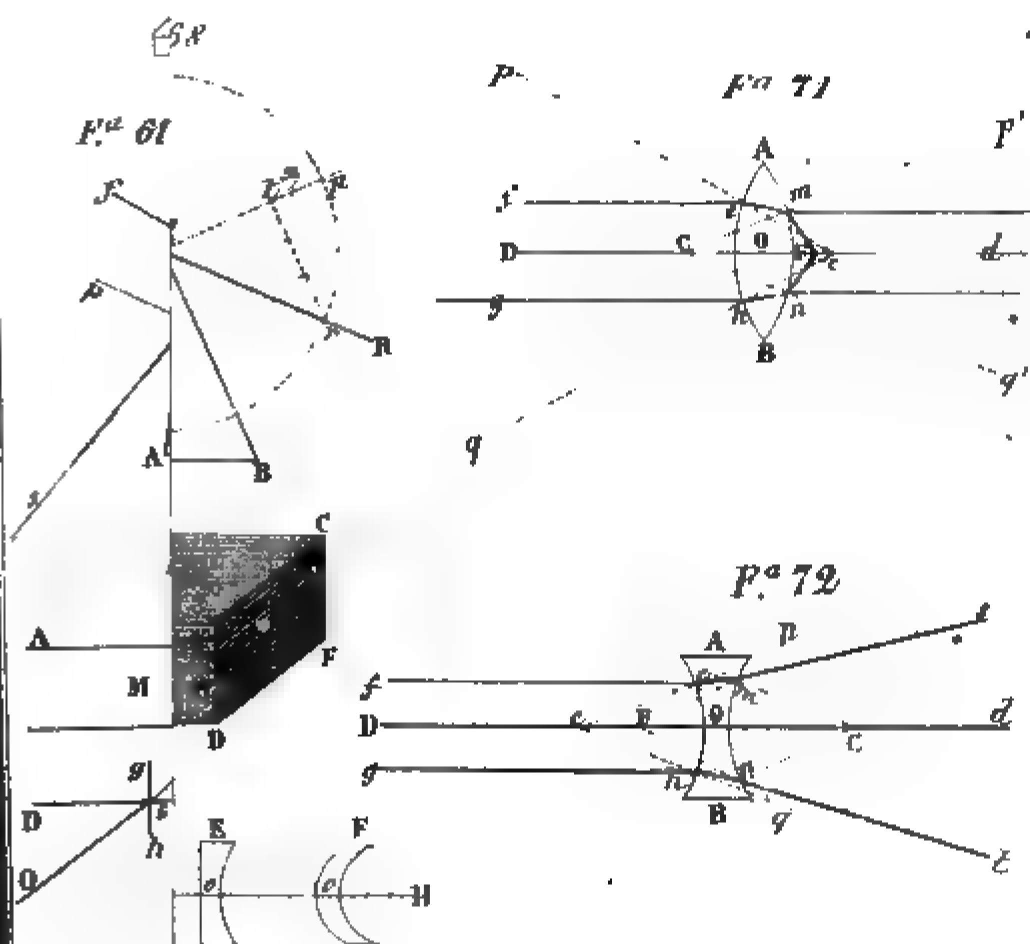

Fª 51
q
O
A
B
m

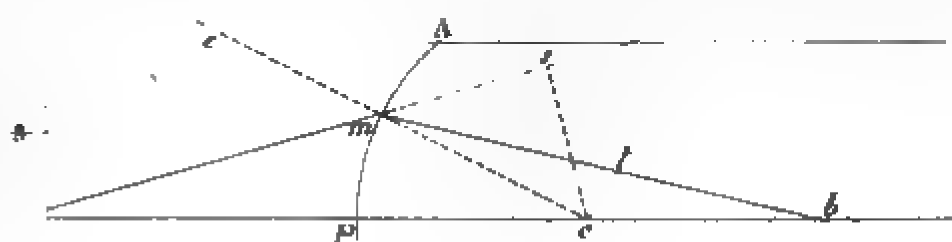

Fª 52
A
D
B
C

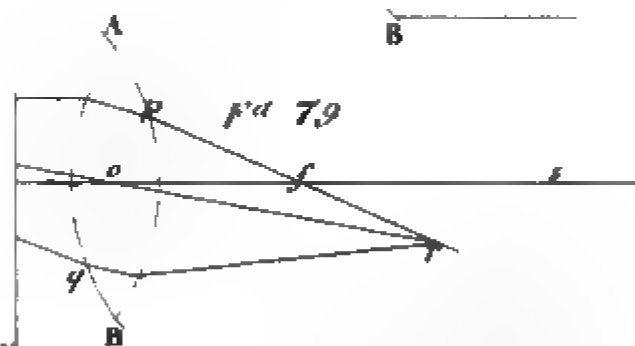

Fª 53
S
A
B
B
D
F
C


f
b
n
d
m


F.a 59.
F.a 60.
V
D
A
B
F.a 58
F.a 61
F.a 71
F.a 72
R
C
M
D
F
E
H

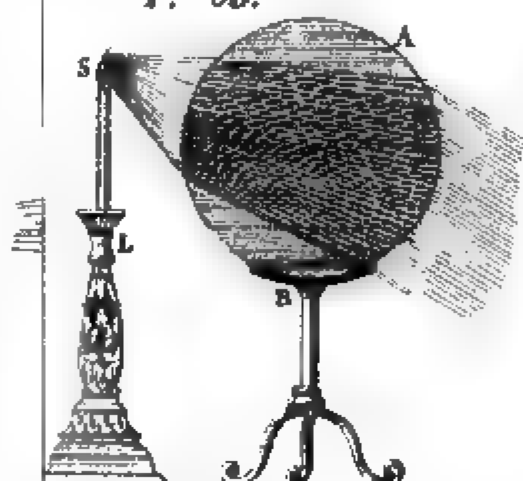



F.a 76.
A
e
m
l
b
p
c
B


A
p
F.a 79
o
f
q
B


F.a 81
S

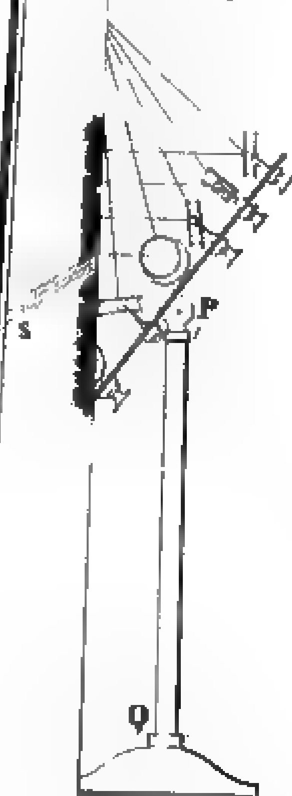

F.a 86.
N
A
M'
N'
B

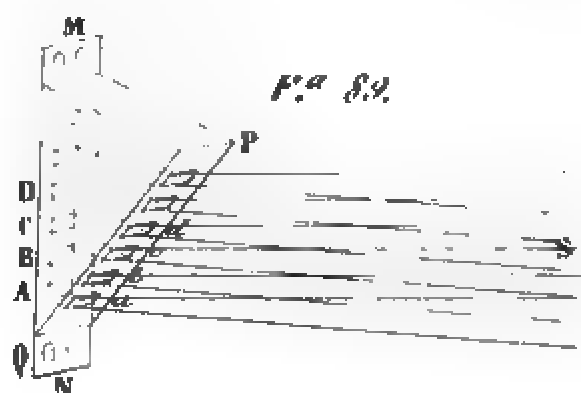

F.a 85.
A
S
L
B

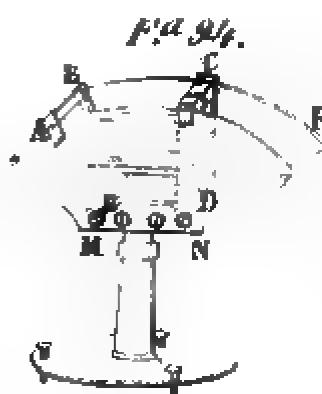

F.a 84

Majo

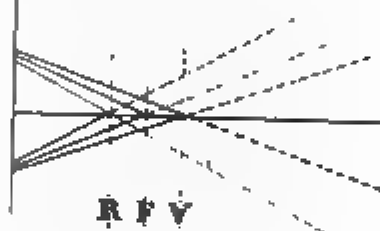
Tav. 6.







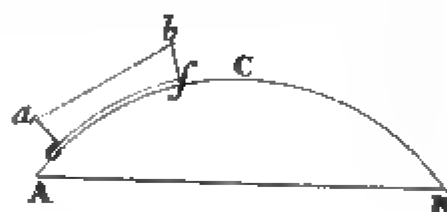
F.a 97

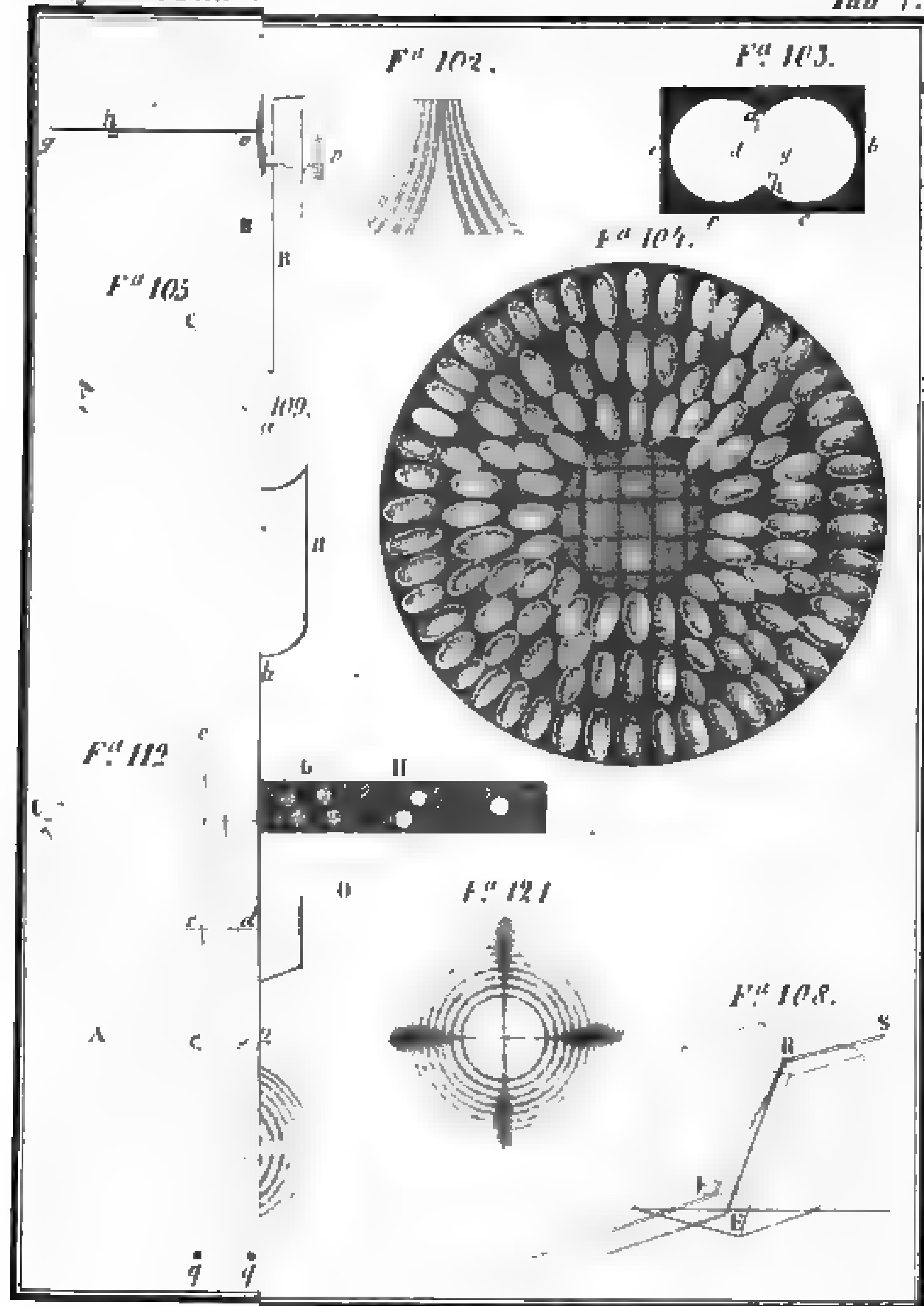


F.a 95

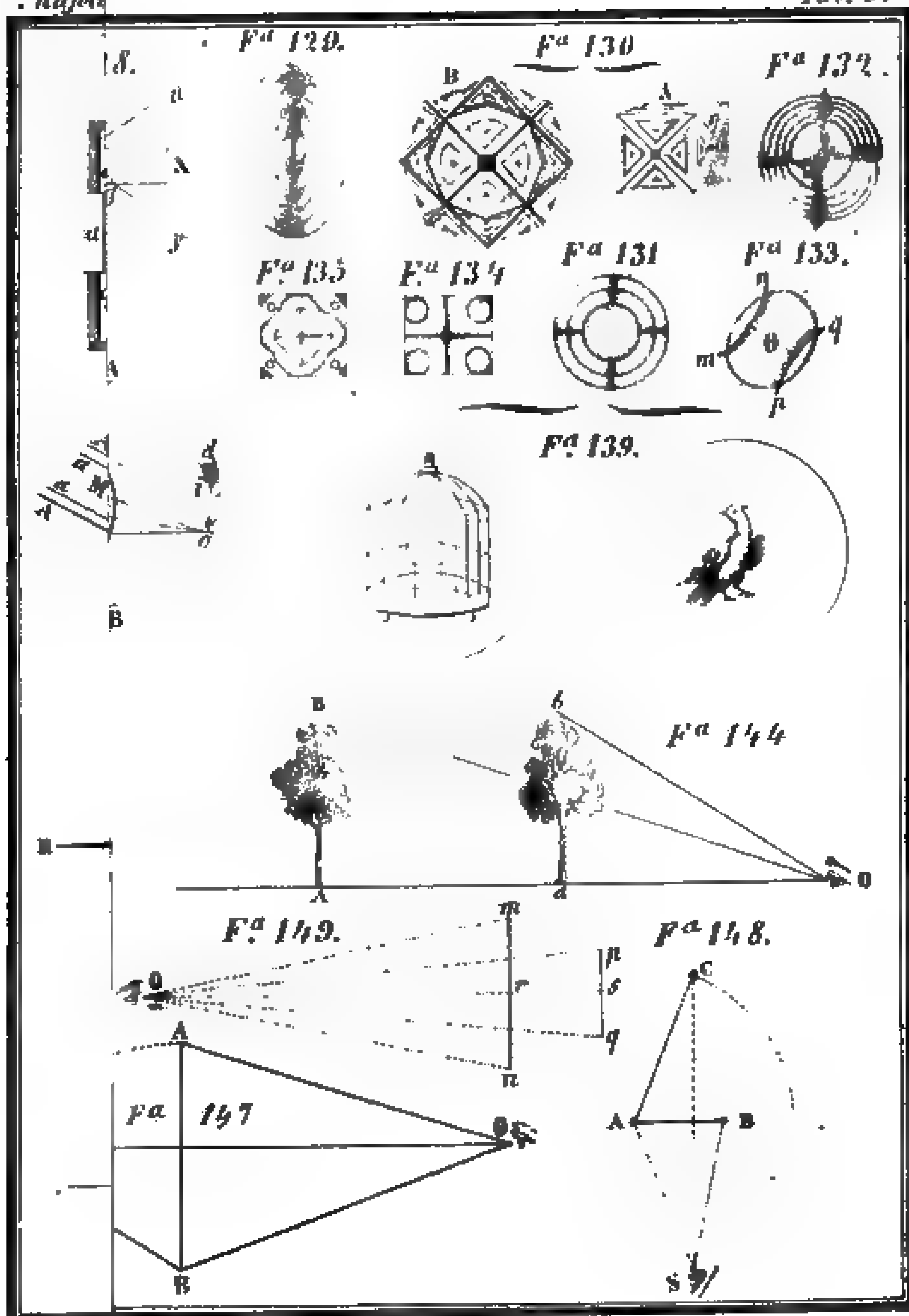


F.a 98.

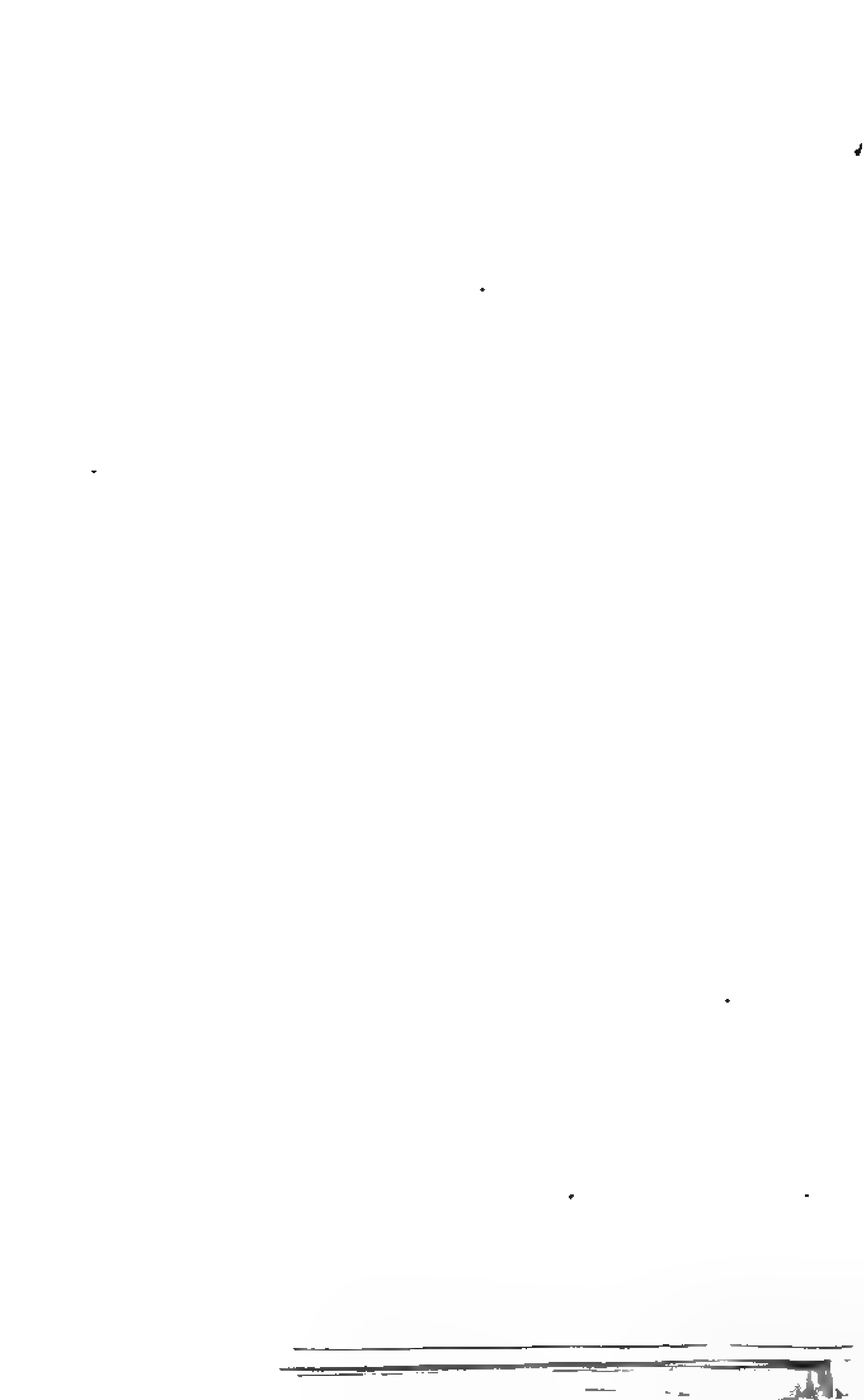


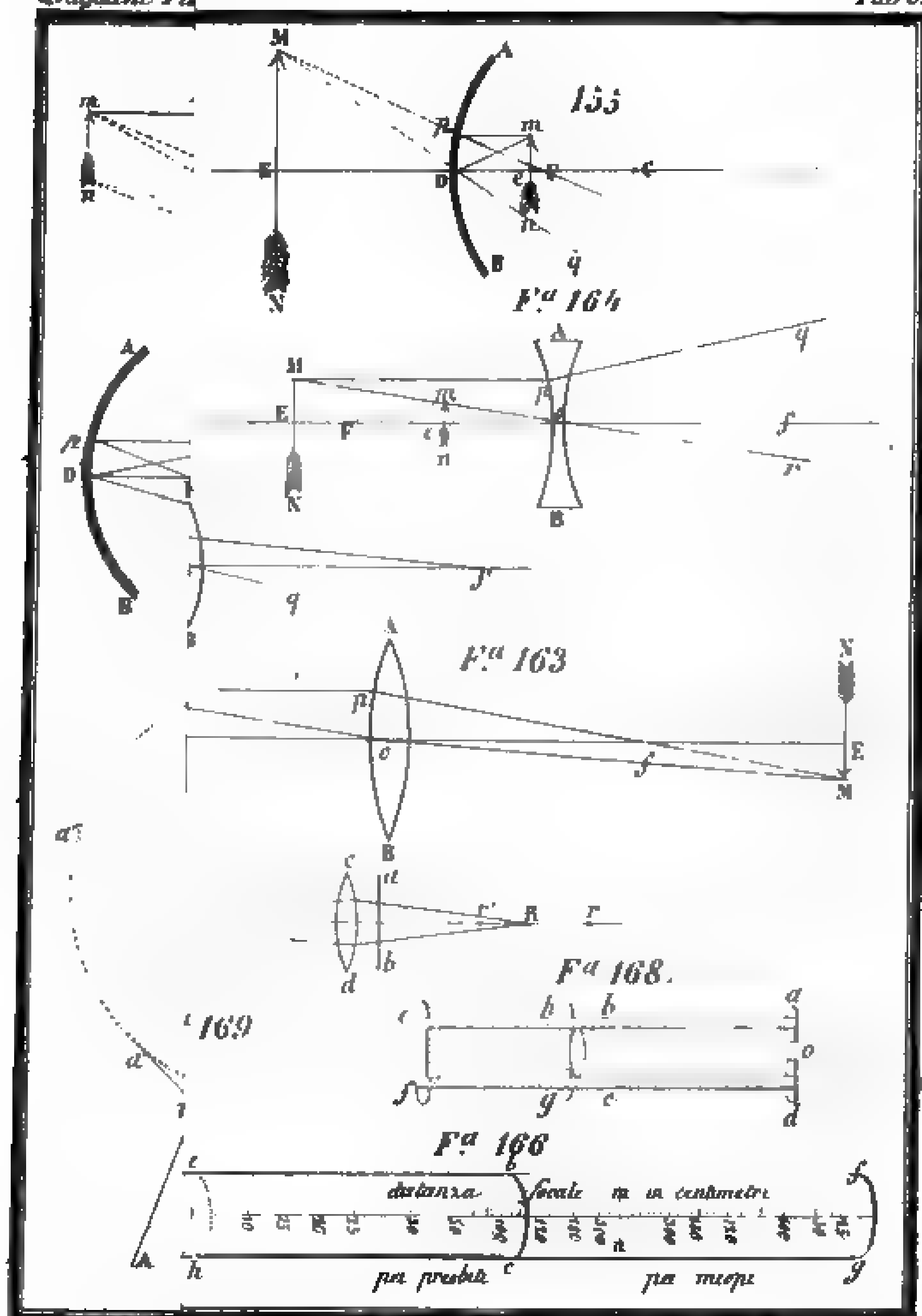

Fª 102.
Fª 103.
Fª 104.
Fª 105
Fª 112
Fª 121
Fª 108.



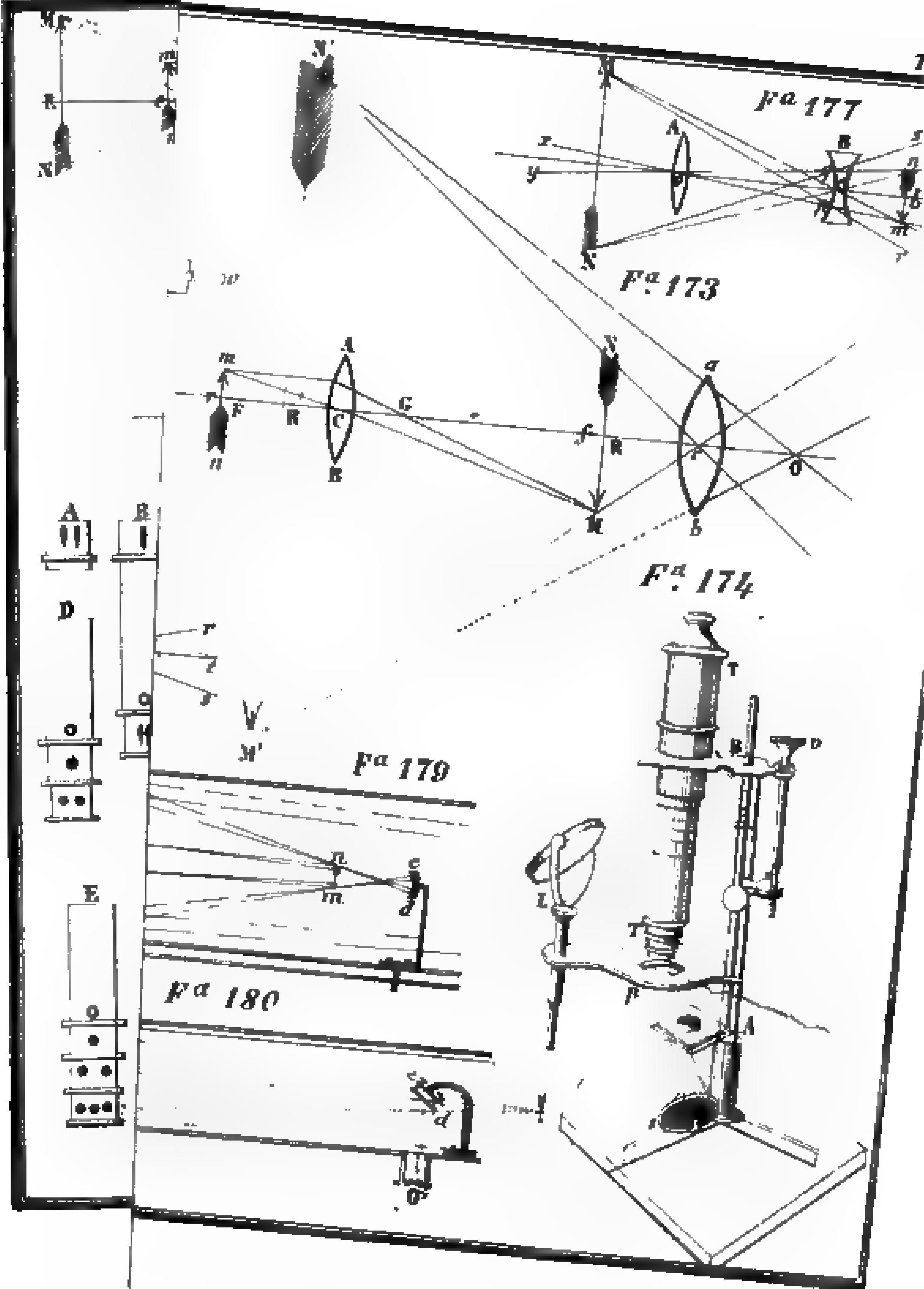


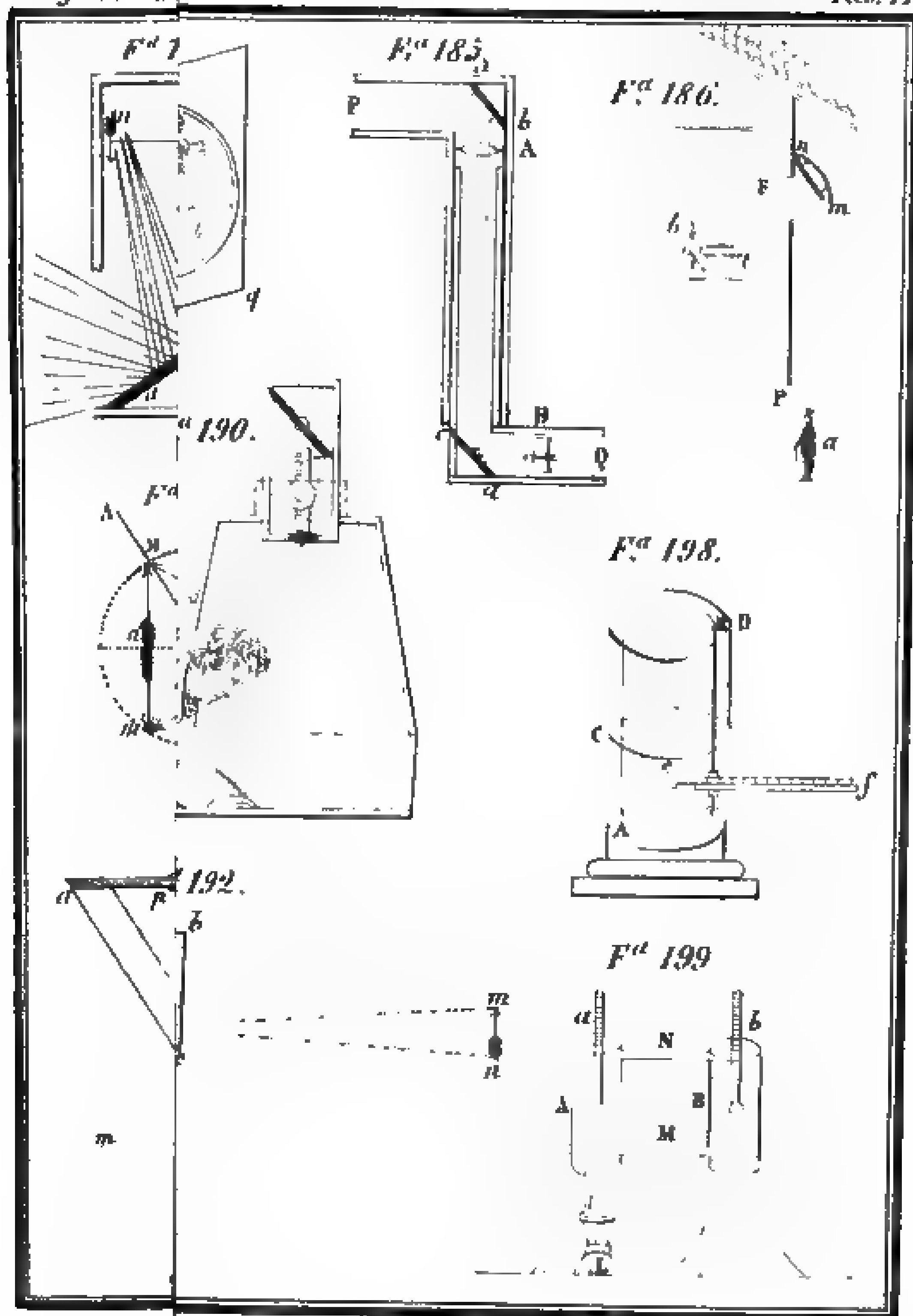
Fa 129.
Fa 130
Fa 132.
Fa 135
Fa 134
Fa 131
Fa 133.
Fa 139.
Fa 144
Fa 149.
Fa 148.
Fa 147



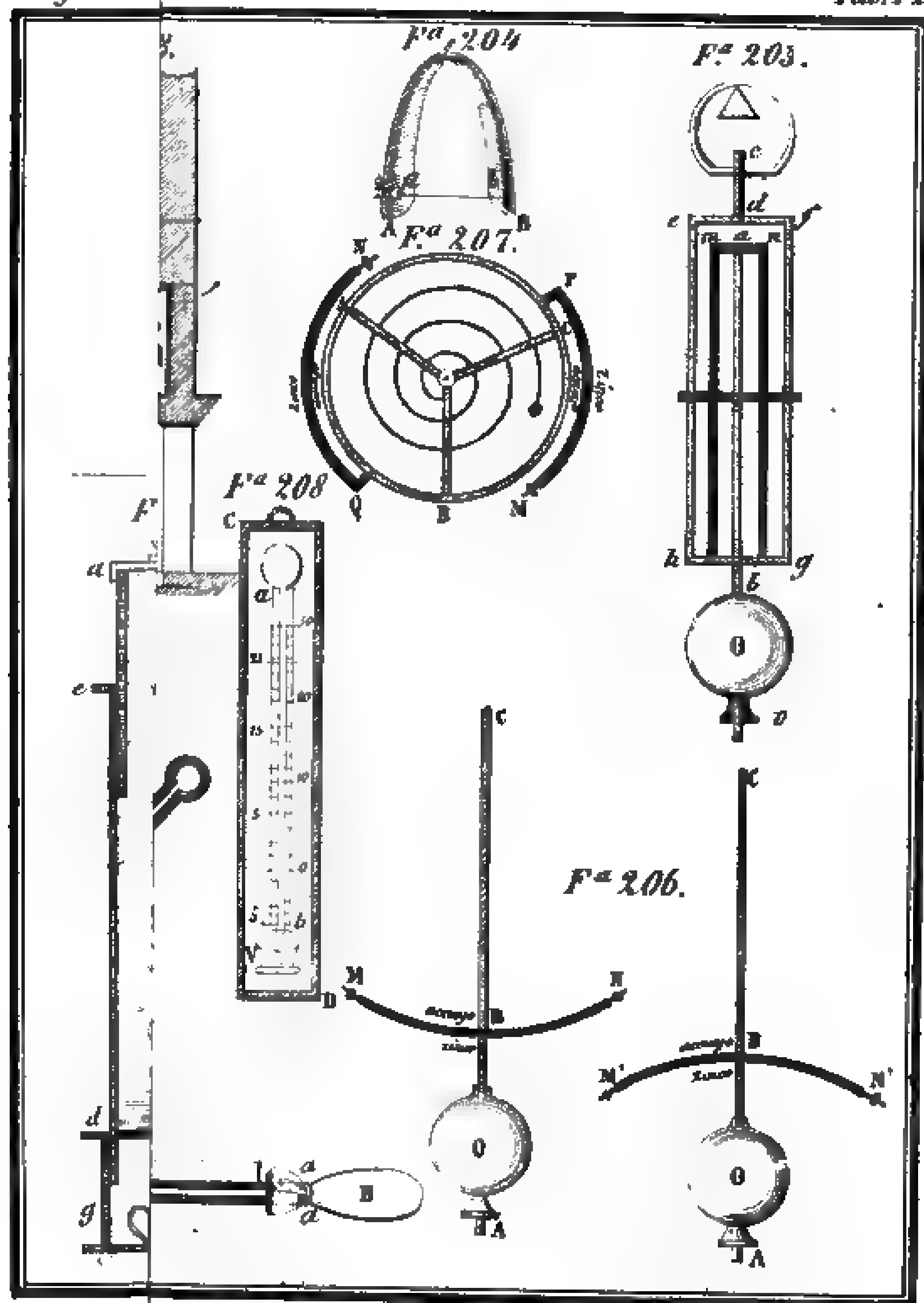


153
Fa 164
Fa 163
Fa 168.
169
Fa 166
distanza
focale
in centimetri
per presbiti
per miopi


Fa 177
Fa 173
Fa 174
Fa 179
Fa 180


Fa 1
Fa 185
Fa 186.
a 190.
Fa
192.
Fa 198.
Fa 199

Majocchi F. Tav. 12.



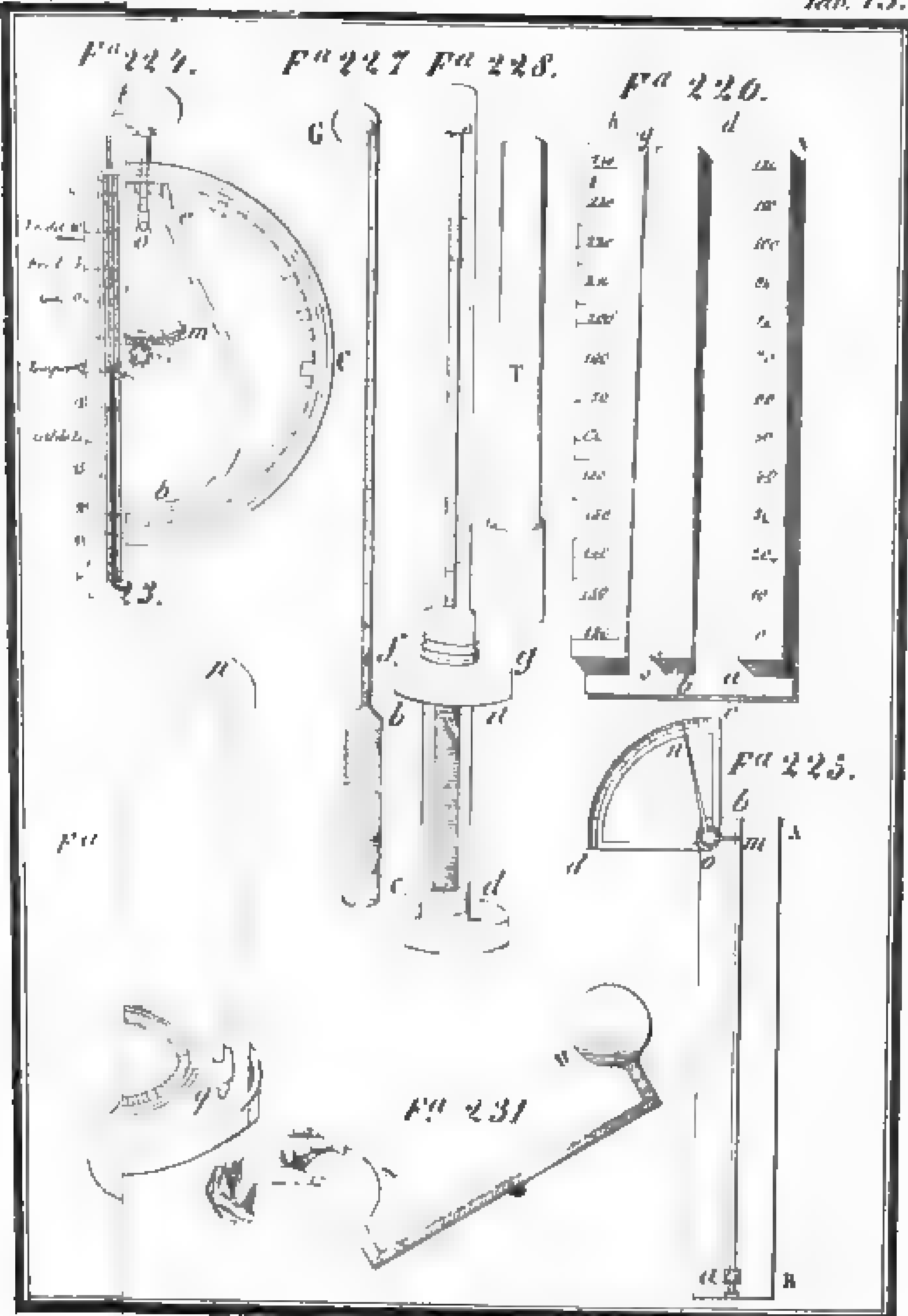

Fa 224.
Fa 227
Fa 228.
Fa 220.
Fa 225.
Fa 231

Fig. 239.

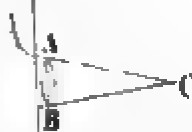






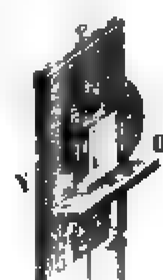


Fig. 241

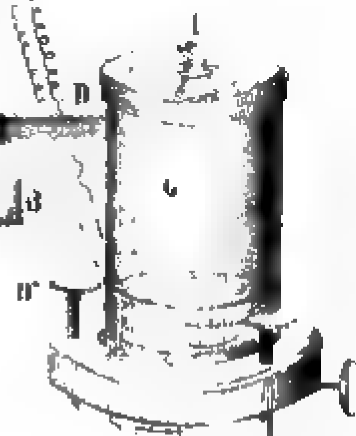


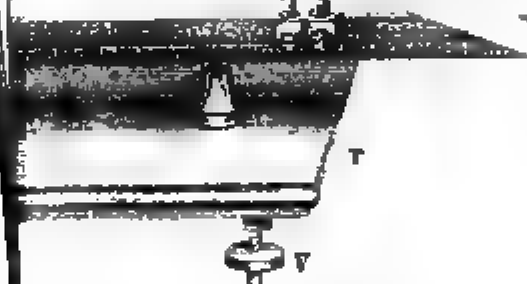
Fig. 242

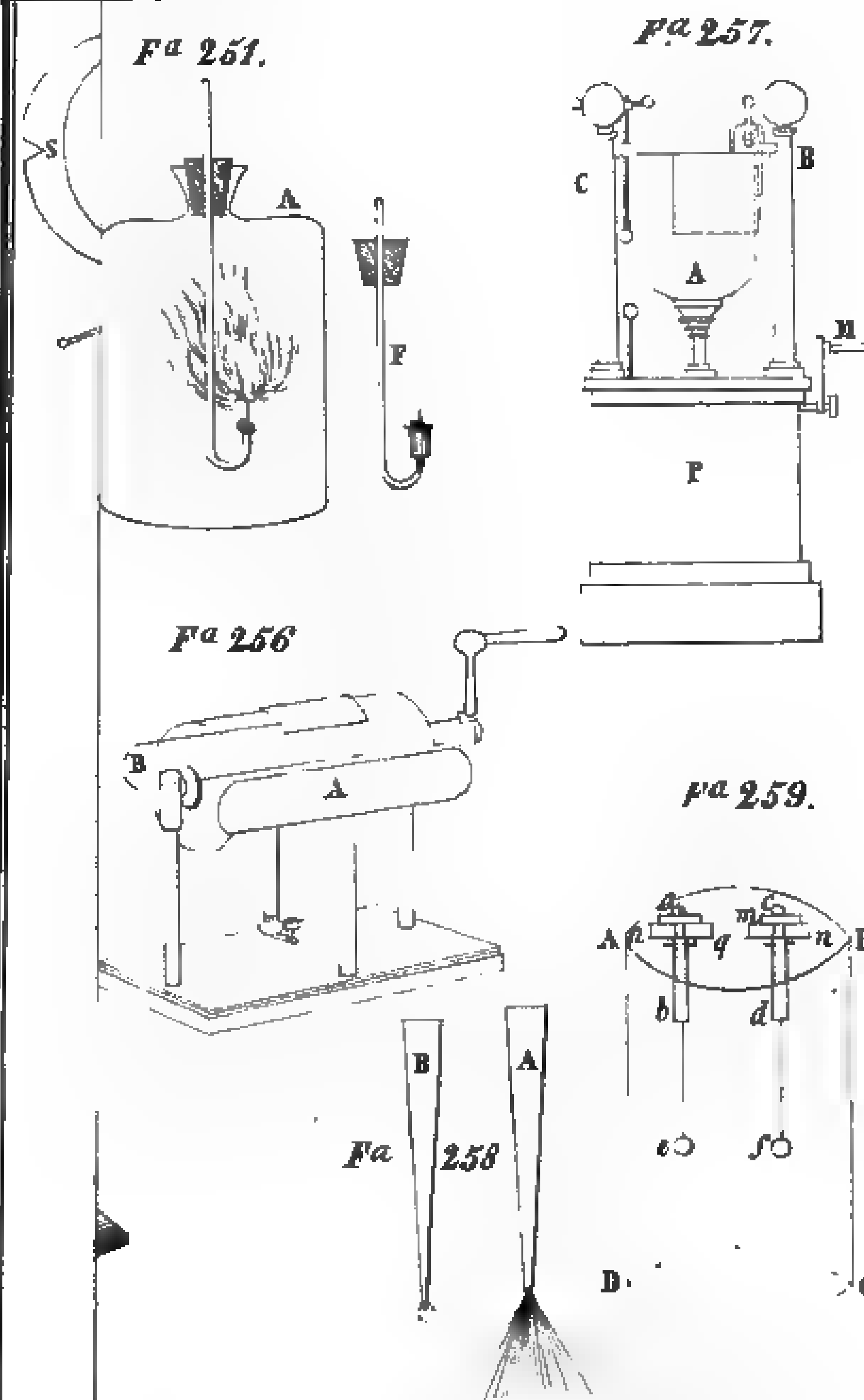




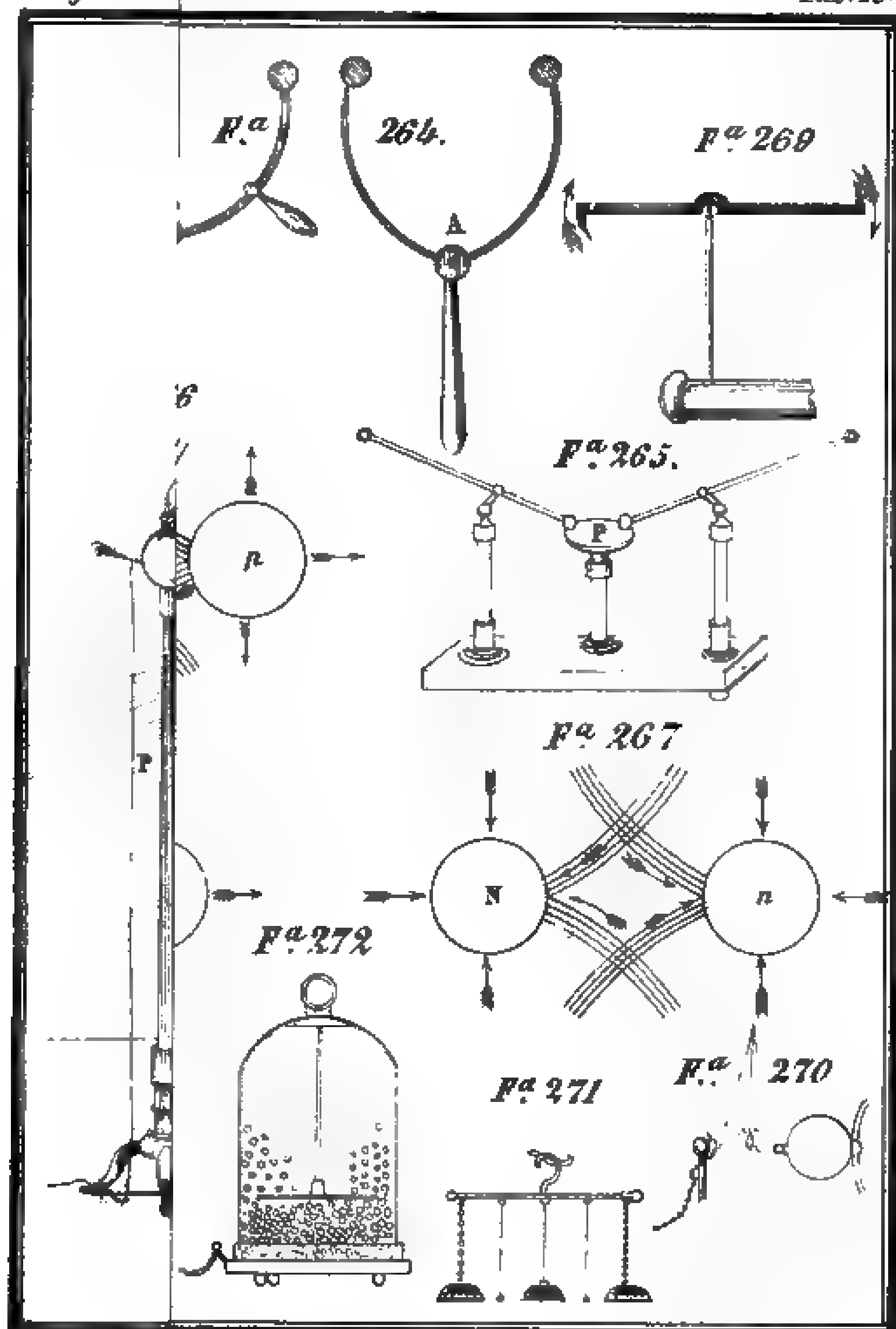






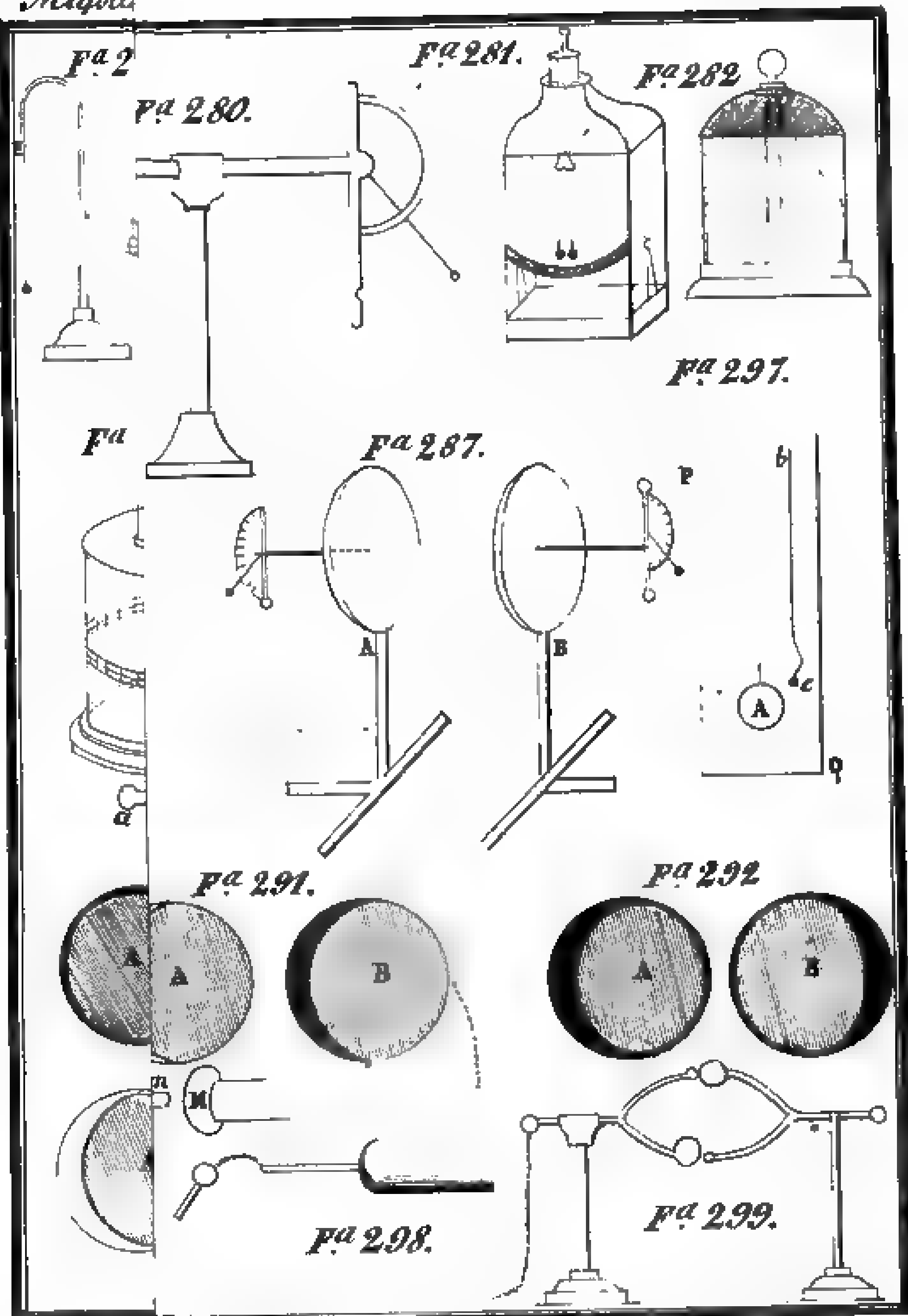


Torino Lit. Salussolia



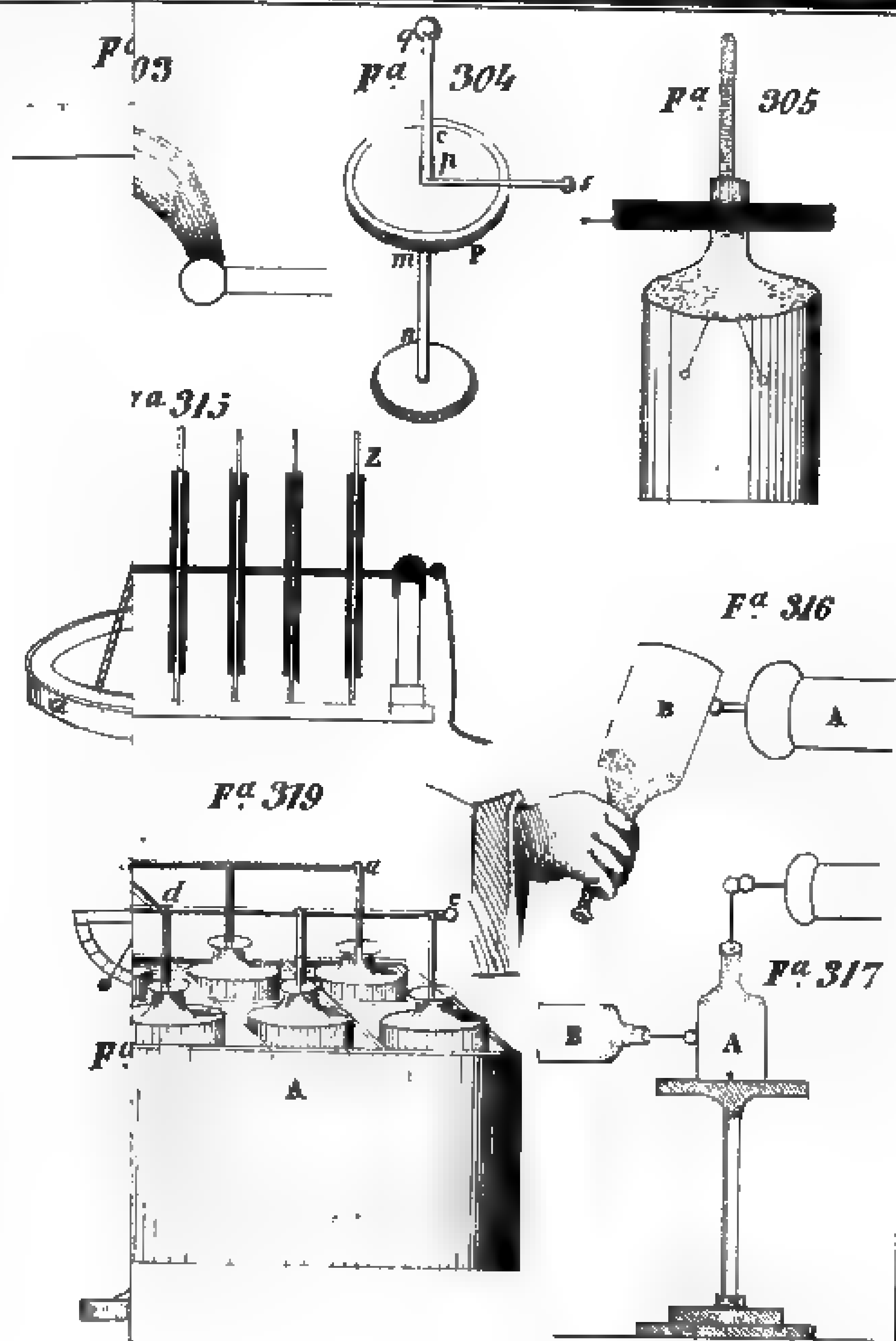
Torino Lit. Salussolia.



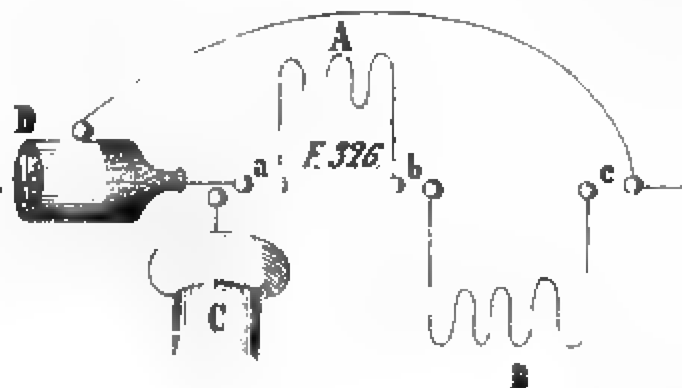


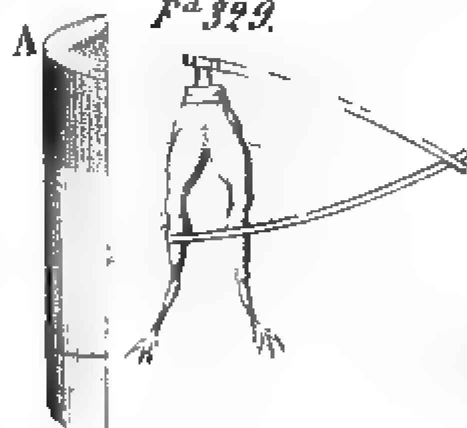
Torino Lit. Salussolia

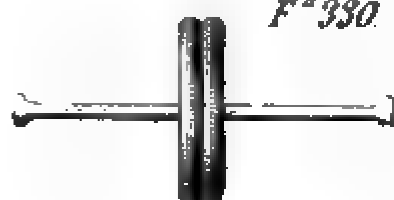




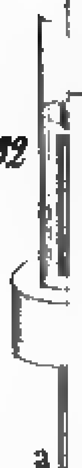
Torino Lit. Salussolia

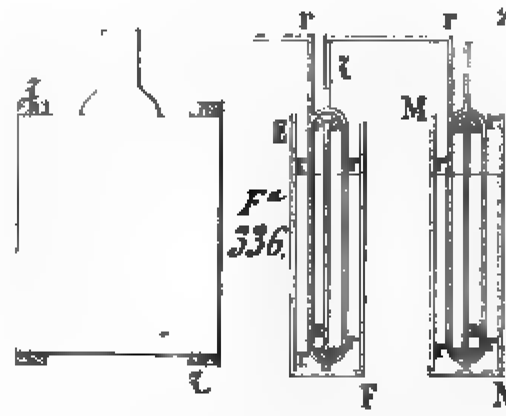




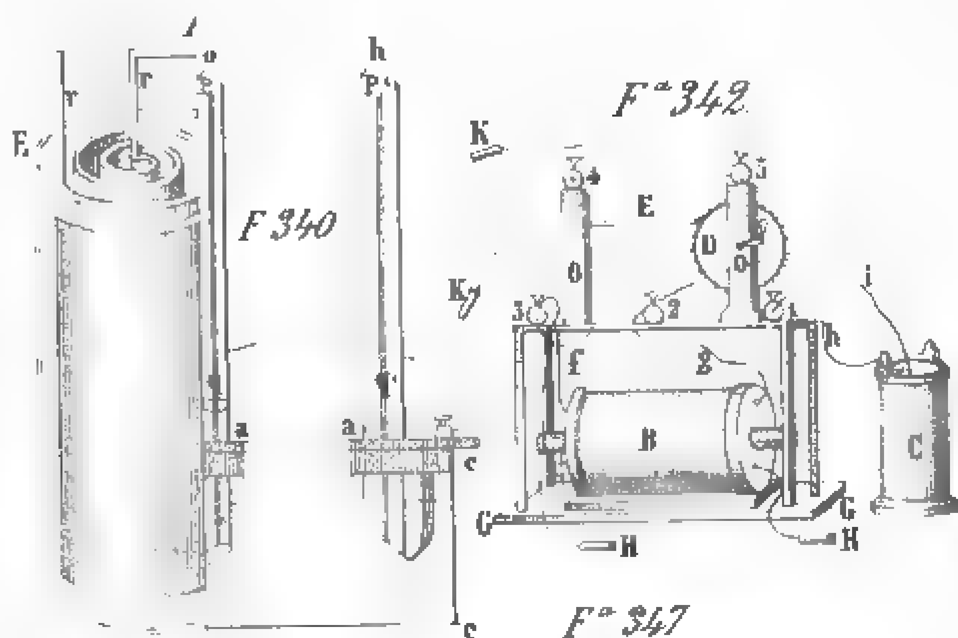


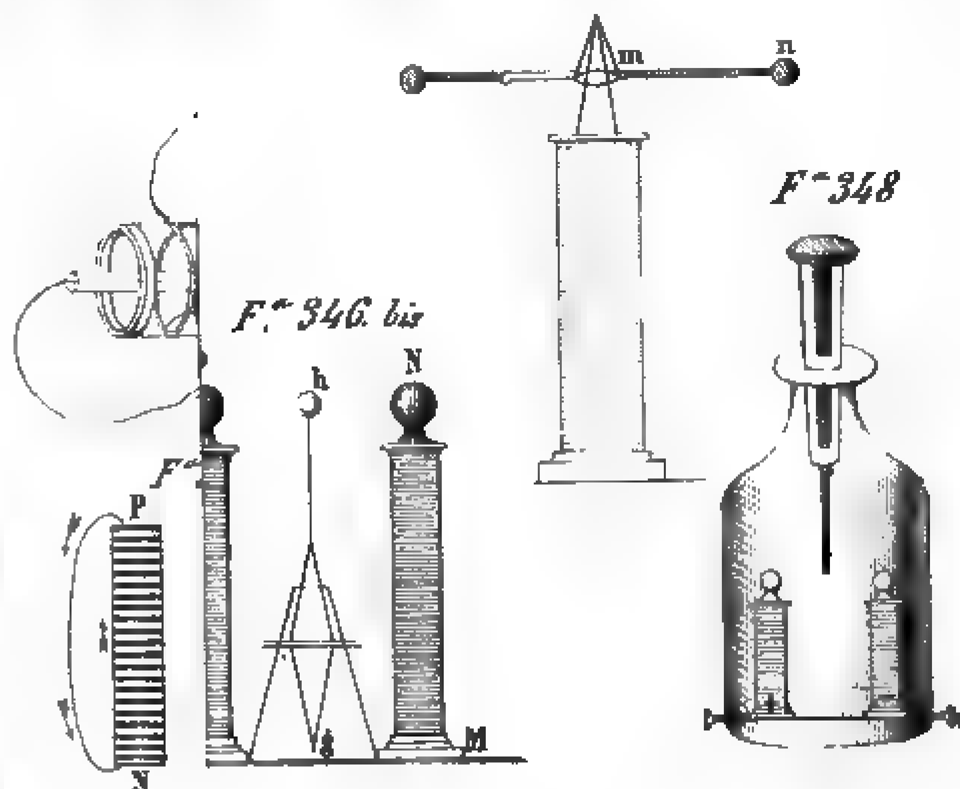




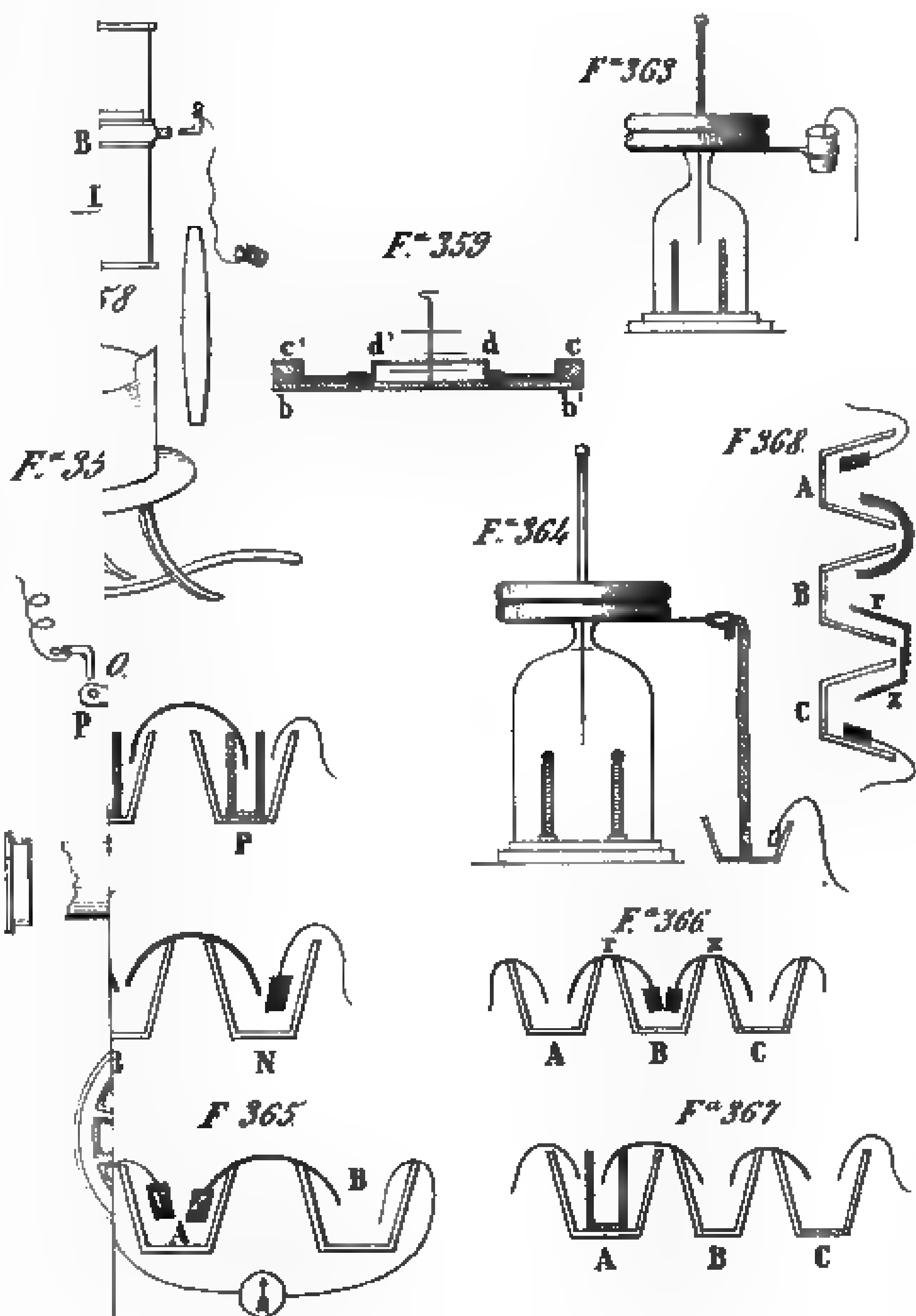


Torino Lit. Salussolia 1842

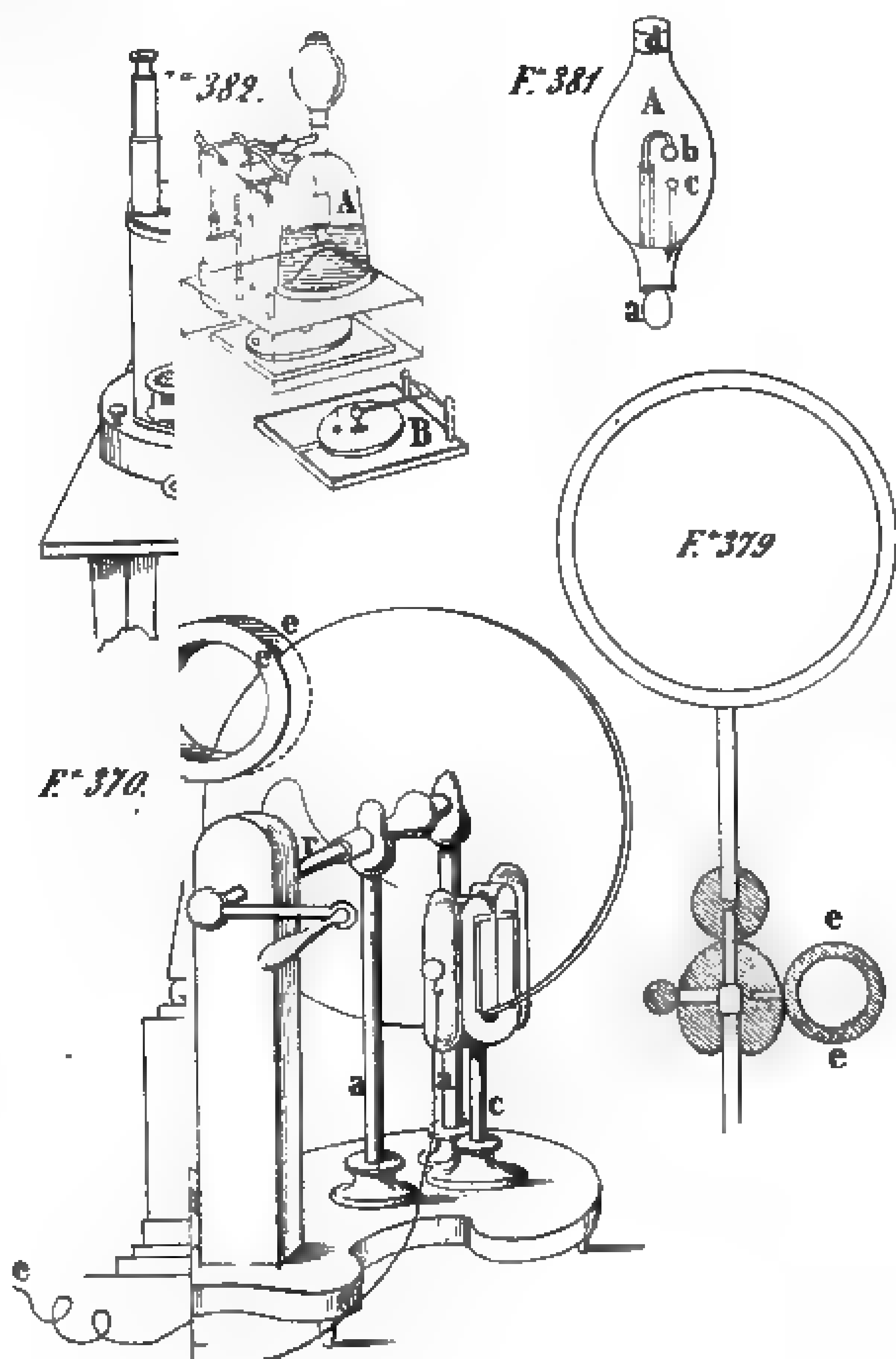




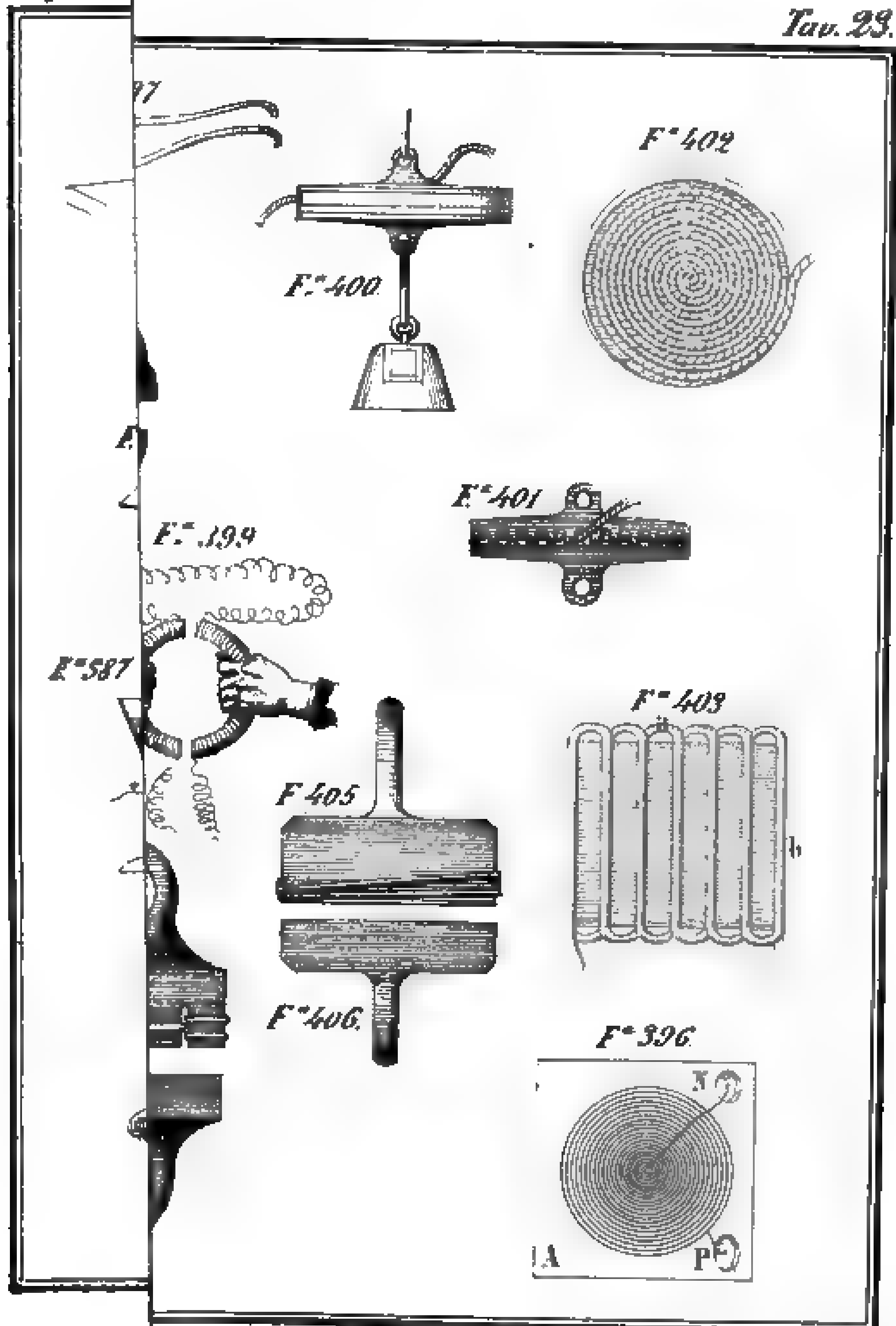
Lit Salussolia 1869 Torino.



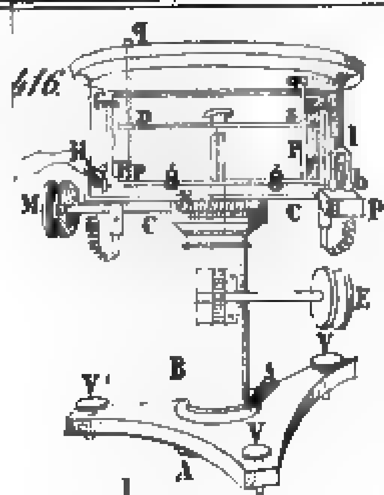
Torino, Lit. Salussolia

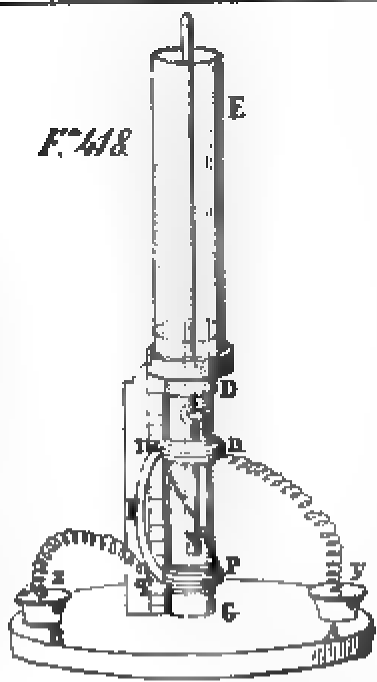


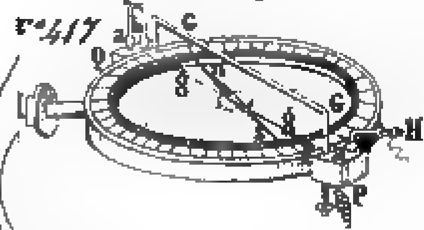
Torino 1852 Lit. Salussolia

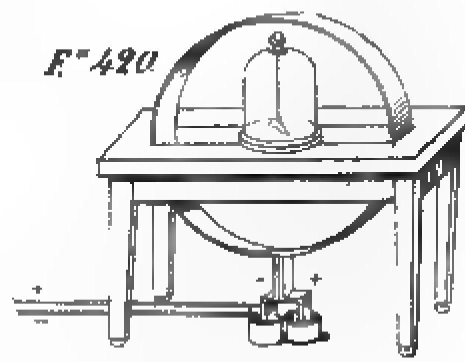


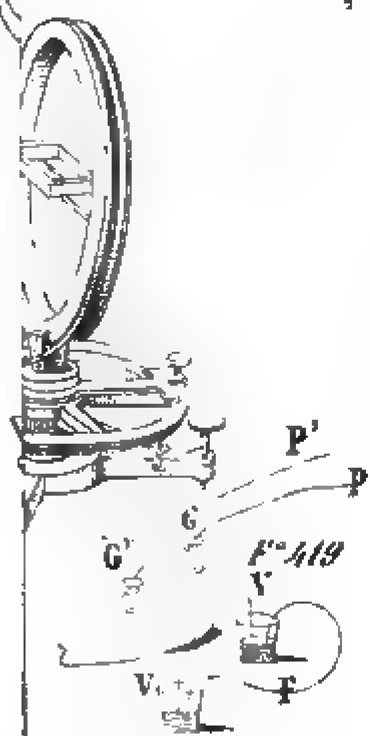
Torino 1852 Lit. Salussolia

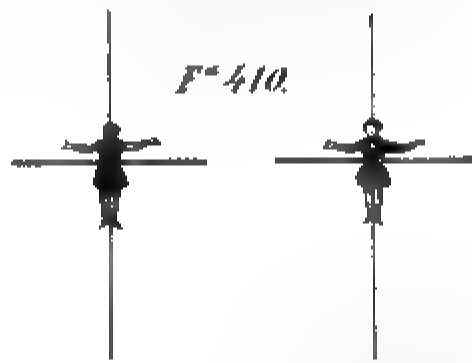




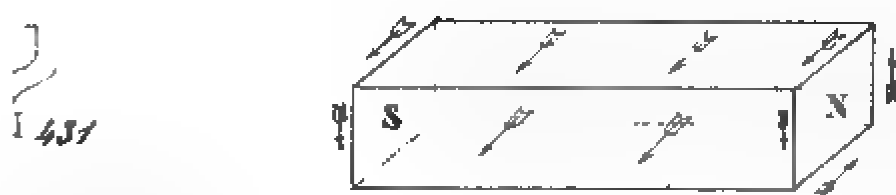


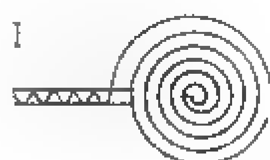




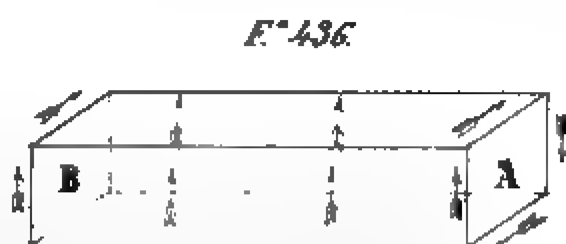


Torino 1852 Lit. Salussolia.

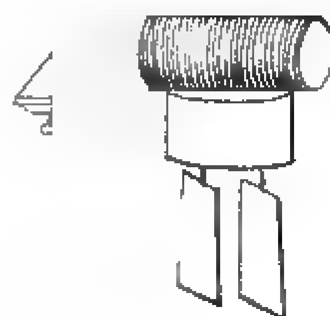


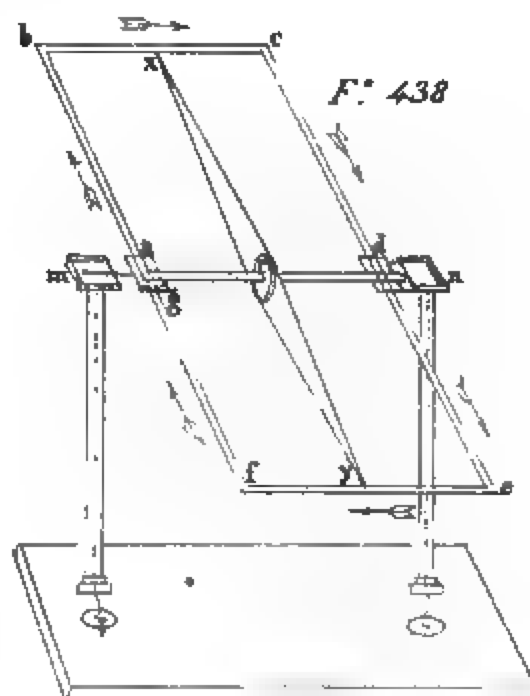


F.ª 436.

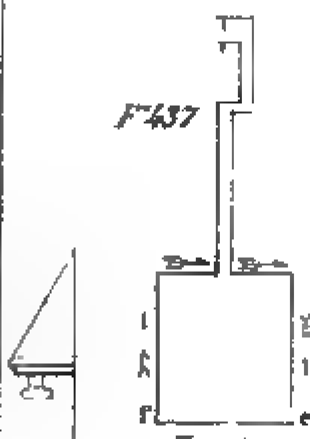


F.ª 435





F.ª 437



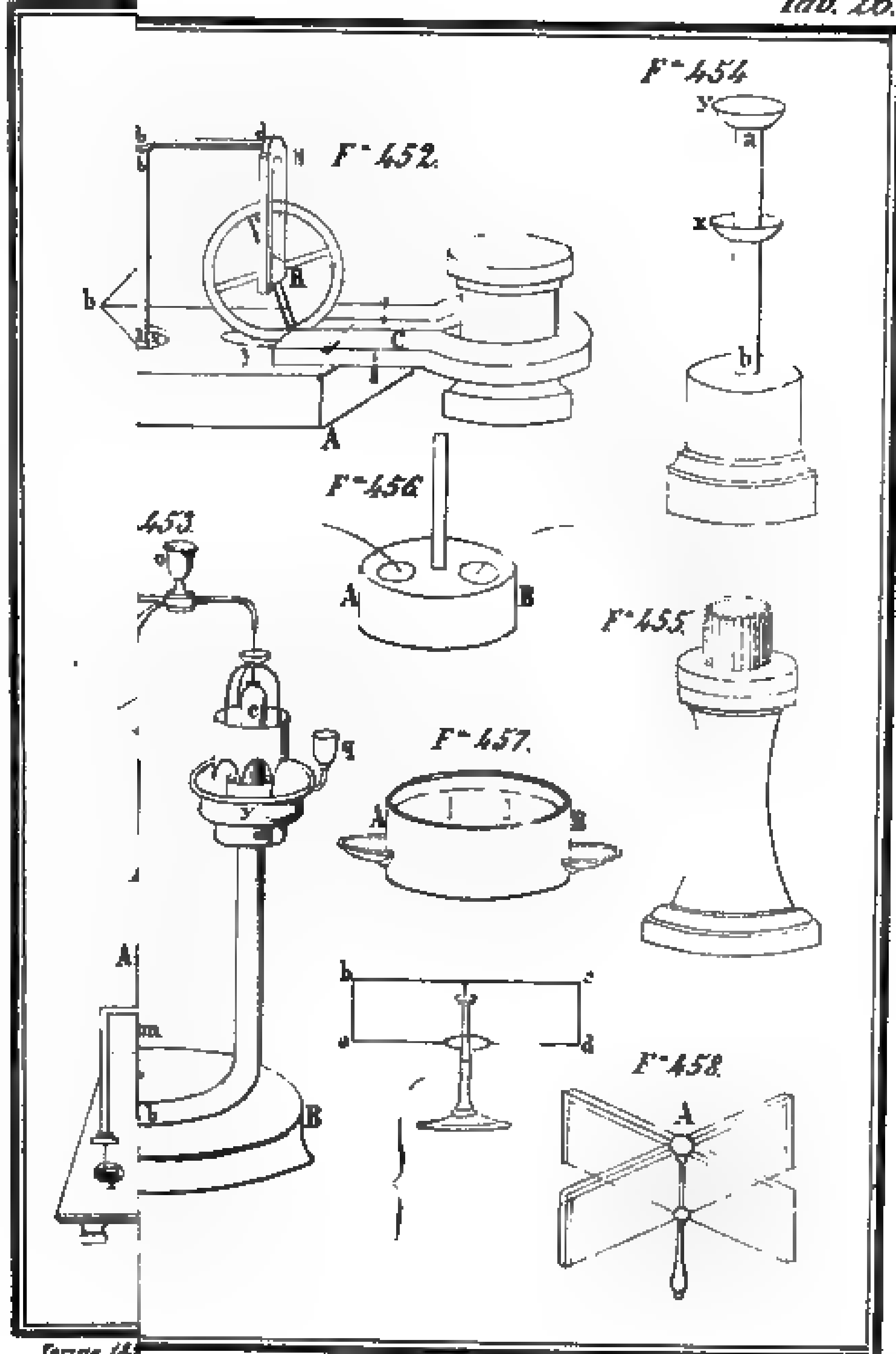
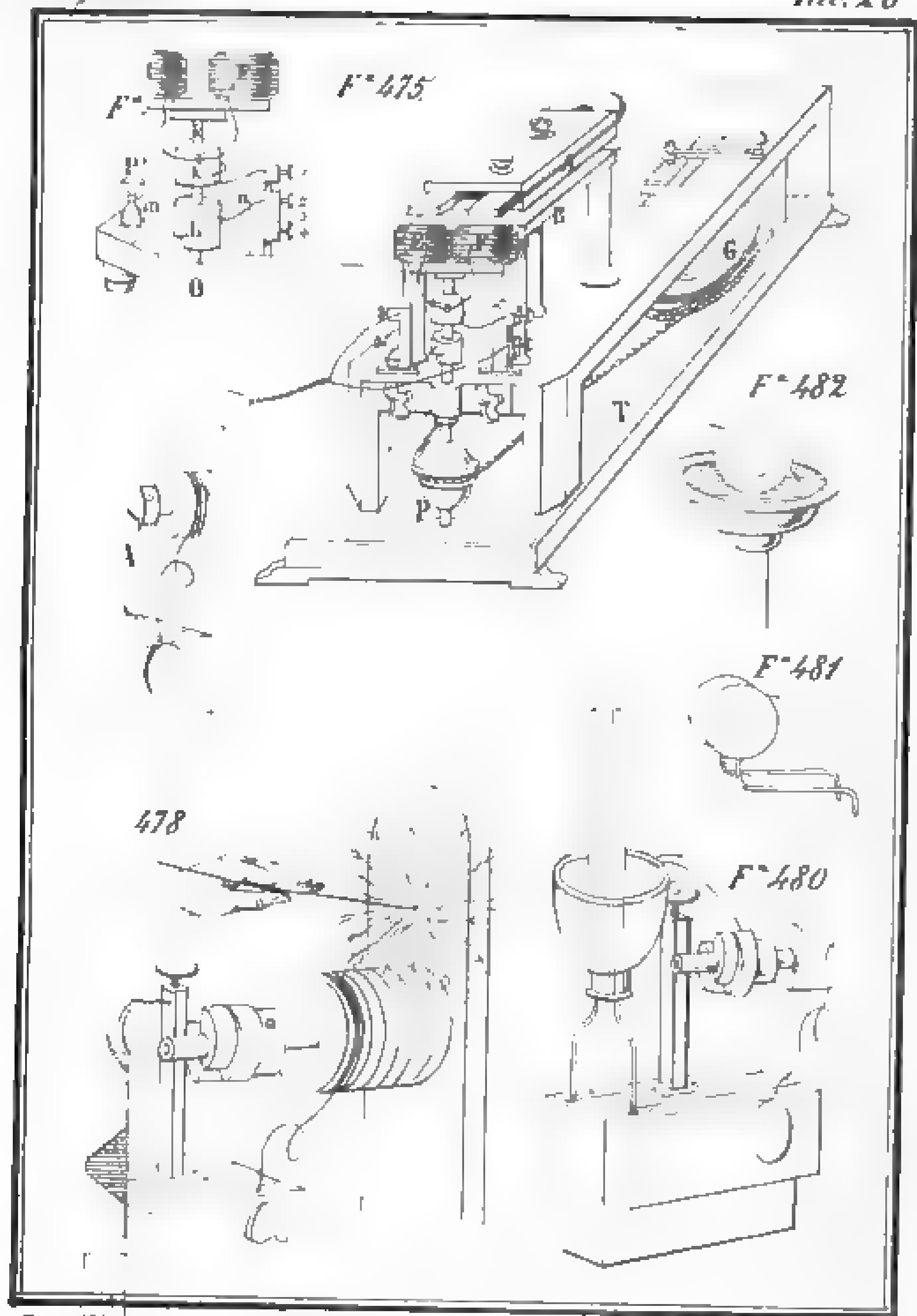
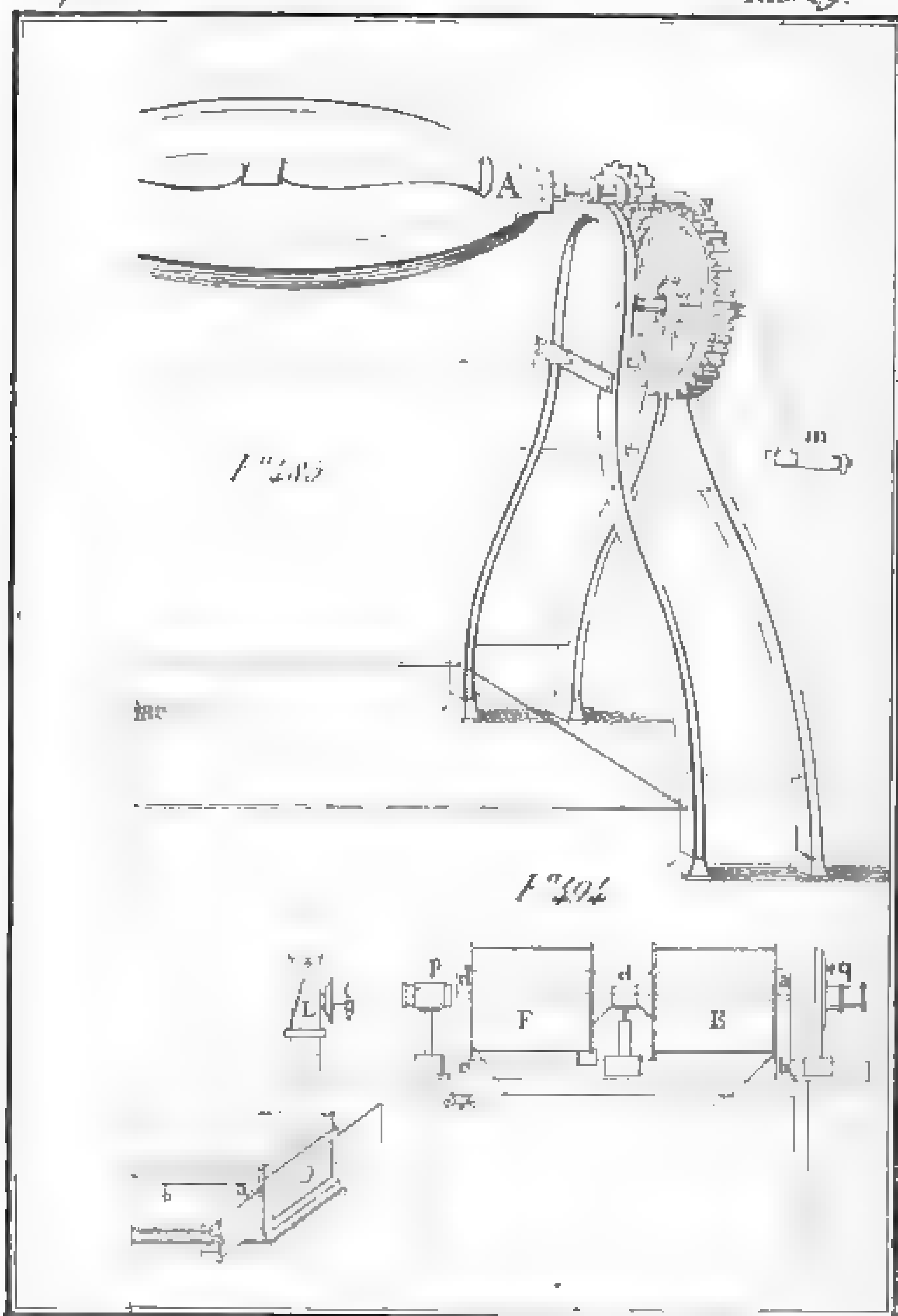

F^a 454
y
a
x
b
F^a 452.
b
b
R
A
C
F^a 456.
A
B
453.
e
q
y
F^a 455.
F^a 457.
A
B
b
c
e
d
m
B
F^a 458.
A

Fig. 467


F.ª 475
F.ª 482
F.ª 481
478
F.ª 480
Torino 1853

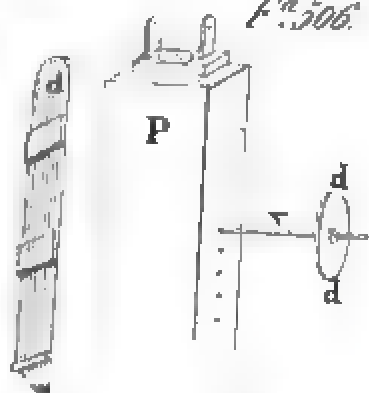

A
m
F
E
p
d
q
L



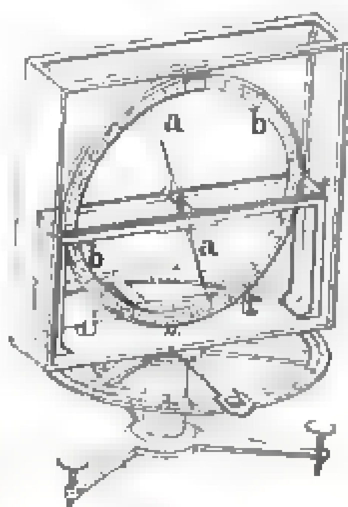
Majocch.

T. 30.

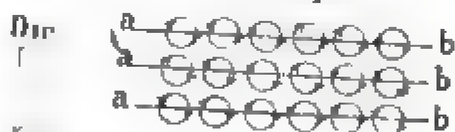
F.a 506.



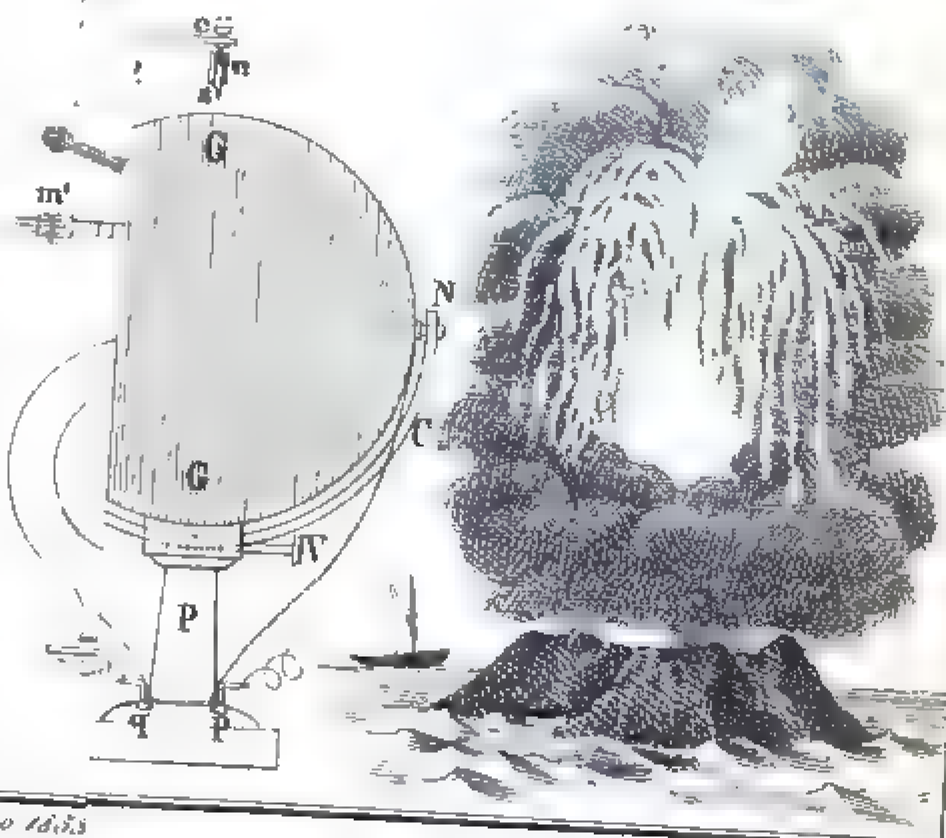
F.a 505.



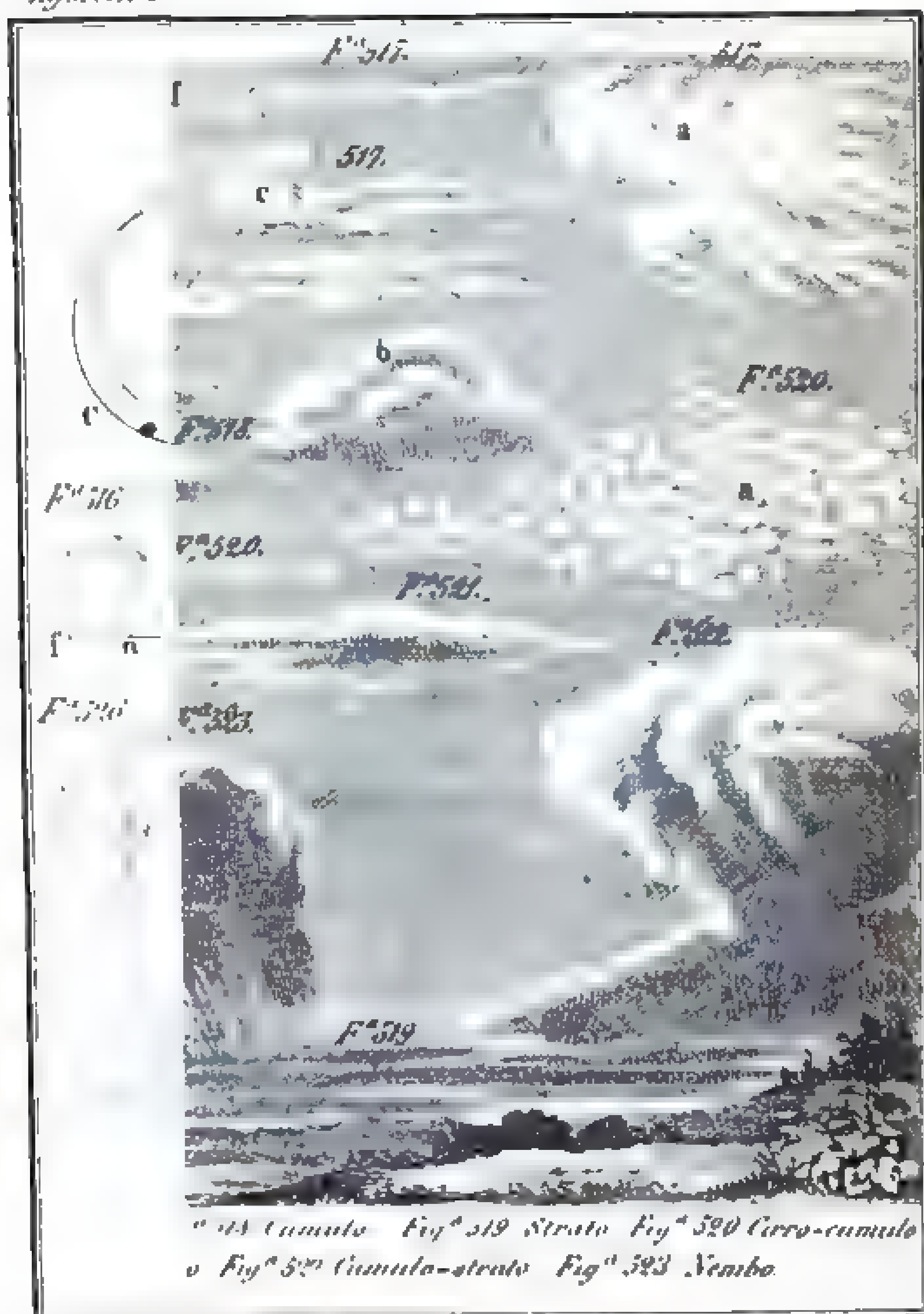
F.a 507.



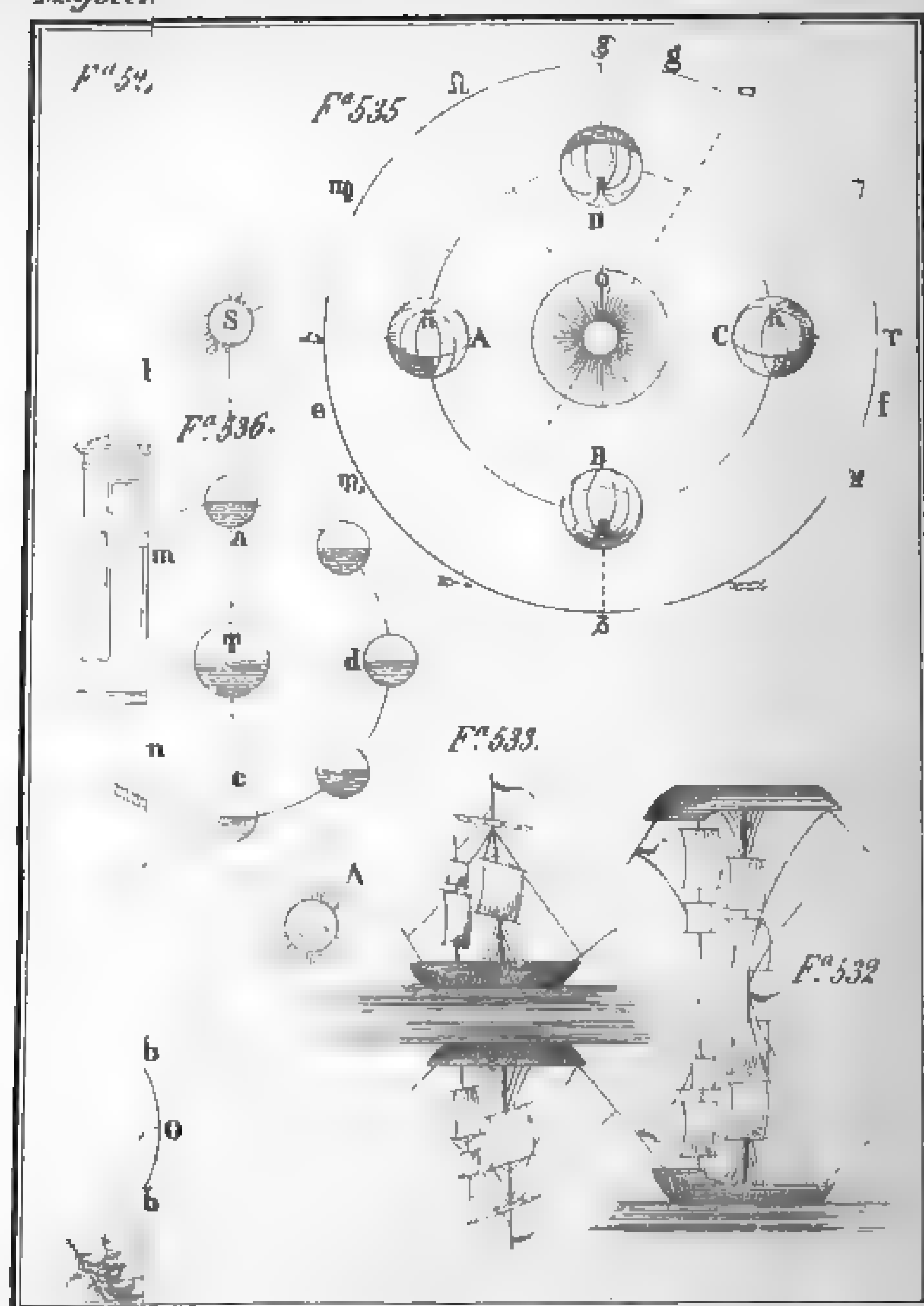
F.a 511.



Torino 1853



... Cumulo Fig.a 519 Strato Fig.a 520 Cirro-cumulo o Fig.a 522 Cumulo-strato Fig.a 523 Nembo.


Fa 535
Fa 536
Fa 533
Fa 532
S
A
B
C
D
T
d
c
e
f
g
l
m
n
o
b

